RADIATION EDUCATION

放射線教育

2002

VOL.6 NO.1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育

Radiation Education

Vol. 6　No. 1

目　次

1__【巻頭言】「放射線との出会いと、共に歩いた長い旅路」　*高島良正*

3__自然放射線の測定実践の報告　*岩倉三好*

9__２１世紀の環境問題　*高木伸司*

15__新聞報道にみる原子力：2002年1～12月予備調査　*笹川澄子*

21__元素合成　*荒谷美智*

31__年代時計としての放射性同位元素　*大橋國雄*

39__「放射線」関連用語アンケートの集計結果　*堀内公子*

49__放射線教育に関する実践報告　*森　厚文*

57__放射線から見る生命と地球の歴史　*大野新一, 渡辺　宏*

63__放射線と物質の相互作用（２）　*中村眞基*

67__投稿規定

68__編集後記　小高正敬

発行：2003年3月30日，NPO法人　放射線教育フォーラム

〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関3-3-1　尚友会館B1F

Tel: 03-3591-5366　FAX: 03-3591-5367

E-mail mt01-ref@kt.rim.or.jp,　*HP*：http://www.ref.or.jp

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p.1−2 (2002)

［巻頭言］

放射線との出会いと、共に歩いた長い旅路

高島良正
財団法人　九州環境管理協会
九州大学名誉教授
（〒810-0032　福岡市中央区輝国 1-3-44（自宅））

私が放射線と出会ったのは 1945 年（昭和 20 年）8 月 7 日、廣島である。当時 16 才の陸軍幼年学校生徒であった私にも太平洋戦争が敗色濃厚であることは何となく解っていたが、その年の初めに廣島を訪れた廣島幼年学校の先輩である陸軍大臣の阿南大将は、本土決戦に備えて幼年学校生の一時帰省を指示された。そのお陰で私は郷里熊本に帰り、廣島の原爆投下日はちょうど廣島へ復帰するための列車の中にいた。途中、列車は下関駅などに長時間停車し、廣島市近くの己斐駅まで来たところで列車の運行が打ち切られたので歩き始め、廣島市内を横切って廣島駅まで歩いた。その間市内では、至るところに散乱する人や動物の屍体や、屍体と重なってうごめいている人々など、凄惨な場面を目の当りにした。この間に大量の放射線を浴びた筈であるが、その時は知る由もなかった。同期生の中には、いろいろな理由で帰省できず、直接被爆した者も 10 名余りいたが、被爆直後に死亡した者，その時は元気そうで動き回っていたが、数ヶ月後風邪から肺炎になって死亡した者、その時は重症で動けず輸血などに頼っていたが、その後回復し 70 才を超えた今でも健在な者など様々で、原爆時程度の放射線被爆でも、後の適切な処置をすれば人は大きな回復力をもっているのだということを実感している。私自身は被爆後 3～4 ヶ月くらい少しだるさは感じたが、普通の生活をし、進学して九州大学理学部化学科に入学した。当時大学では放射化学という講座はなかったが、温泉や放射性鉱物に関する研究室があり、それに興味を魅かれたのは、多分に廣島原爆の影響があったものと思う。九州大学の卒論の時期を加えると約 41 年間放射線利用の研究を続けたことになる。昭和 20 年代から 40

年代初め頃までは、第 5 福竜丸のビキニ水爆実験での被災事故はあったものの、まだ放射能や原子力は平和利用によって人類の将来に夢を与えてくれるものと考えられていた。実際、放射能・放射線は科学の多くの分野に利用され、これまでできなかった問題を解決することができた。放射線や原子力は一般の人々にも興味をもたれ、福岡市の中心部でも大々的な原子力展示会が行われ、超満員の見物客があったことを記憶ししている。また 1963 年、東海村で原子力発電所が完成し、電灯がついた折は「原子の灯点る」という記事が新聞第 1 面を飾り、国中の人々を喜ばしたのである。しかし 1970 年頃から次々に原子力発電所が建設され、初期のいろいろなトラブルが報じられている折に、1974 年原子力船「むつ」の出力上昇試験失敗、そして 1979 年米国スリーマイル原子力発電所の事故、更に全世界に大きな衝撃を与えた 1986 年のチェルノブイル事故で、反原発の世論は抑えることが殆んどできなくなってしまった。この二つの事故は核爆弾を保有する技術の進んだ国でのことで、日頃大量の核物質取扱に馴れた運転員の不注意によることが主たる原因であり、慎重な運転をすれば、このような事故の確率は極めて低い筈である。

今、去る 2 月 2 日のスペースシャトル事故で、宇宙開発のことが話題になっているが、7 人の犠牲者が英雄視されるだけで、宇宙開発事業をやめようという声は一つもあがらない。確かに人工衛星は軍事用の偵察や気象観測、通信放送などに非常に役立っている。また科学者にとっても重力場のないところでの物質合成や生物の生態観察など、興味をそそる問題が多いと思うが、地球上に住む人間が地球上でできないことを無理にやる必要があるのかとか、地球上でできてもクーロン人間づくりのようにやってはいけないものもあるのではないかなど考える必要があるのではないだろうか。もともと宇宙空間には空気が存在せず、その上、太陽面爆発からくる放射線量が高く人間の生活には全く不適なところである。そのような所に宇宙ステーションをつくり、更には人工の都市（宇宙コロニー）をつくろうという考えは理解できない。

1969 年人類が月に降り立ってから 30 年の間にすでに 14 人が飛行中の犠牲になっている。また地球の周りには用済みになった人工衛星や燃料タンクの破片など 3 万個以上が浮遊し、時々バランスを失って地球上に落下する。先のシャトルも爆発して 1000 個以上の破片が落ちてきた。もちろんこれらの物体が人を直撃すれば死亡させてしまう。もし神が見ていれば人類は地球環境破壊に留まらず宇宙環境まで破壊するのかと言われそうである。

現代科学技術の産物は人にとって有益なものであるが、必ず幾許かのリスクを伴うものである。放射線や原子力利用は人類に有益なもののを産み出し、しかも極めてリスクの小さいものと信じ、これからもずっと共に歩き続けたいと思っている。

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p.3−8 (2002)

自然放射線の測定実践の報告

岩倉三好
東京都立三田高等学校
（東京都港区三田１丁目４番地４６号）

［要約］
財団法人　日本科学技術振興財団より、簡易放射線測定器「はかるくん」を使用した自然放射線の測定依頼を受けた。本校の生物部部員等による自然放射線の測定と自然放射線の学習を行なった。また、文化祭で自然放射線についての展示と一般来校者などによる自然放射線の測定を実施した。測定の結果はいずれも東京都での測定平均値とほぼ同様であった。

１．はじめに

本校の生物部員部等による自然放射線の測定と自然放射線の学習を行なった。また、文化祭で自然放射線についての展示と一般来校者などによる自然放射線の測定を実施した。
その結果を次に報告する。

２．生物部部員等による自然放射線の測定と学習

（１）実施の方法

A．実施日と時間
平成１４年１０月２９日（火）放課後午後３時３０分から５時００分頃まで

B．測定参加者
教員１人，生徒４人（生物部１年男子部員３人、化学部１年男子部員１人）合計５人

C．測定実施前の説明と指導
生物実験室にて、自然放射線とその測定方法について３０分間説明を行なった。
放射線についての説明は、資料「はかるくん」を活用するために　副読本・１（放射線）（参考文献１）を利用した。
その時、３，４頁の１．２放射線とはの項ではアルファ線、ベータ線、ガンマ線などの放射線の種類、自然放射線と人工放射線について、７，８頁の２．１家の近くでの項では屋外や屋内の放射線について、１２，１３，１５頁の２．３日常生活と放射線の項では年間放射線量の計算方法、「はかるくん」にによる測定値の都道府県別平均、日常生活と放射線、「はかるくん」による新幹線内での自然放射線量率の測定例などについて、主に詳しく説明した。
測定機器と測定方法についての説明は、資料、取扱説明書　簡易放射線測定器「はかる

くん」（参考文献２）を利用した。

電源スイッチを押すと、測定数字が１０秒毎に表示される。表示は、その場所のガンマ線の強さを表わし、１時間当たり何マイクロシーベルトという単位である。

測定する高さは測定場所から３０センチメートルを基準値とする。表示部にでる数字を続けて３個記入する。

参加協力校によるホームページ上の測定データの入力についてと今回の測定実施経過の状況の確認方法についても説明した。

D．測定の実施

最初に練習をかねて、生物実験室（５階）にて一緒に測定を実施した。次に学校の校舎内と外の場所での測定を、下記の順番で一緒に測定した。またその場所の床あるいは地面の状態を示した。

１、５階生物実験室、タイル・コンクリート→２、４階３０３教室、タイル・コンクリート→３、地下生徒入り口（実際は１階である）、コンクリート→４、グランド、土・砂→５、テニスコート、人工ゴム→６、おせんち山（築山）、土・コンクリート→７、校門、コンクリート・タイル→８、屋上（６階上）、防水ゴム

その後、各自が自分の希望した場所で測定を実施した。最後に、生物実験室に戻り、測定機器などを返却した。後に示すアンケートを記入し、感想などを話し合った。

（２）測定結果

本校での測定結果については、参考文献（１）中の自然放射線の都道府県別平均（屋外）での東京都の値、１時間当たり０．０３６マイクロシーベルトより大きくかけ離れた値は出ず、特に異常値はなかったと考えられる。一カ所で各自３回測定した。

共通測定場所での５人の平均値などは次の通りである。数字の単位は１時間当たり何マイクロシーベルトという単位である。

場所	生物室	４階教室	入り口	グランド	コート	築山	校門	屋上
平均値	0.039	0.043	0.037	0.025	0.044	0.025	0.037	0.028
最大値	0.046	0.055	0.049	0.032	0.056	0.034	0.049	0.034
最小値	0.025	0.029	0.025	0.018	0.030	0.019	0.025	0.023

次に各測定場所での測定値を記載する。数字の単位は１時間当たり何マイクロシーベルトという単位です。５人の（　）の中に３回の数字を記載する。

１、生物室 (0.044, 0.042, 0.044) (0.030, 0.025, 0.042) (0.043, 0.041, 0.046) (0.032, 0.041, 0.034) (0.043, 0.044, 0.037)

２、４階 (0.039, 0.045, 0.047) (0.046, 0.038, 0.045) (0.049, 0.042, 0.039) (0.029, 0.044, 0.055) (0.036, 0.047, 0.045)

３、入り口 (0.035, 0.043, 0.038) (0.038, 0.028, 0.046) (0.030, 0.031, 0.049) (0.025, 0.033, 0.034) (0.046, 0.042, 0.042)

４、グランド (0.018, 0.025, 0.025) (0.020, 0.024, 0.020) (0.021, 0.027, 0.030) (0.032, 0.026, 0.022) (0.027, 0.031, 0.021)

５、コート (0.047, 0.054, 0.044) (0.030, 0.049, 　　) (0.035, 0.043, 0.032) (0.056, 0.036, 0.042) (0.046, 0.045, 0.053)

６、築山 (0.034, 0.033, 0.019) (0.028, 0.030, 0.020) (0.022, 0.027, 0.021) (0.028, 0.033, 0.020) (0.022, 0.019, 0.025)

７、校門 (0.042, 0.032, 0.049) (0.032, 0.032, 0.032) (0.037, 0.035, 0.039) (0.044, 0.040, 0.041) (0.041, 0.028, 0.025)

８、屋上 (0.033, 0.028, 0.030) (0.030, 0.025, 0.023) (0.029, 0.034, 0.024) (0.034, 0.024, 0.026)

（３）考察

測定結果の表の平均値では、グランド、築山、屋上の測定値が他の地点より小さかった。このことは、土とコンクリートでは差があることを示している。測定場所の周囲の状況による影響、土、岩、砂、コンクリートなどについて、ある程度関連性があると推測できる。しかし、今回の測定では測定場所の周囲の状況について、また高さの影響、地面と屋上などの差異について、詳細にはわからなかった。

（４）自然放射線についてのアンケートの実施とその結果

生徒４人のアンケートの質問に対する回答の要点を次にまとめた。数字は人数である。

Ａ．放射線や放射能に関しての今までの学習は。ある３、ない１

Ｂ．自然放射線の存在は。知っていた４、知らなかった０

Ｃ．自然放射線の種類がわかったか。わかった１、わからなかった３

Ｄ．放射線に対する考え方は。変わった３、変わらない１

Ｅ．放射線の事故は（複数回答あり）。チェルノブィリ原発事故３、東海村の臨海事故２、もんじゅの事故１

Ｆ．放射線の利用の中での選択は。医療健康３、農業の育種関係１

Ｇ．今回の測定で印象にのこったこと。

ア．普段の生活ではわからないことなので、実際はすごくいろいろなところにとんでいるということがわかった。

イ．予想外のところで、意外と放射線の量が多いことがわかった。

ウ．続けて測定しても少しずつ変わるという事が意外だった。

エ．場所によって放射線量が大きくちがうこと。

３．文化祭での自然放射線の測定の実施

（１）実施の方法

文化祭（本校では白珠祭とよぶ）当日、生物実験室（５階）に測定のコーナーを作り、来室者に簡易放射線測定器「はかるくん」を使用して、自然放射線の測定してもらった。各自１回測定後、値を記入する。

その際、自然放射線について、資料「はかるくん」を活用するために　副読本・１（放射線）（参考文献１）より抜粋して、パネル展示した。展示したのは３，４頁の１．２放射線とは、７，８頁の２．１家の近くで、１２，１３，１５頁の２．３日常生活と放射線である。また一部の人には説明した。

実験台に簡易測定器「はかるくん」を置いて、実験台の上に置いた測定方法の指示に従って測定してもらった。できるだけ測定方法の説明は行なった。

測定機器と測定方法についての説明は、資料、取扱説明書　簡易放射線測定器「はかるくん」（参考文献２）を利用した。

電源スイッチを押すと、測定数字が１０秒毎に表示される。表示は、その場所のガンマ線の強さを表わし、１時間当たり何マイクロシーベルトという単位です。

表示部にでる数字と氏名を記入する。

Ａ．測定年月日と時間　次の２日間

平成１４年９月１４日（土）午前９時～午後３時　午前８時室温２８℃、湿度５４％

平成１４年９月１５日（日）午前９時～午後３時　午前８時室温２７℃、湿度５５％

Ｂ．測定参加者　来室者（一般、保護者、生徒、教員など）

（２）測定結果

２日間の測定者参加者数とその平均値は次の通りである。

９月１４日　　３２人　　１時間当たり０．０３５マイクロシーベルト

９月１５日　　３３人　　１時間当たり０．０３７マイクロシーベルト

次に測定値を記載する。数字の単位は１時間当たり何マイクロシーベルトという単位です。

９月１４日

0.029, 0.039, 0.042, 0.036, 0.042, 0.041, 0.038, 0.037, 0.047, 0.043, 0.040, 0.041, 0.028, 0.037, 0.025, 0.039, 0.026, 0.029, 0.036, 0.039, 0.033, 0.032, 0.031, 0.027, 0.040, 0.029, 0.024, 0.041, 0.029, 0.039, 0.027, 0.039

９月１５日

0.035, 0.037, 0.041, 0.048, 0.030, 0.035, 0.040, 0.029, 0.036, 0.042, 0.038, 0.037, 0.036, 0.040, 0.035, 0.045, 0.040, 0.049, 0.035, 0.033, 0.043, 0.039, 0.034, 0.025, 0.045, 0.030, 0.032, 0.031, 0.030, 0.029, 0.039, 0.040, 0.026

（３）考察

２日間の測定結果については、参考文献（１）中の自然放射線の都道府県別平均（屋外）での東京都の値、１時間当たり０．０３６マイクロシーベルトにほぼ近かった。

４．おわりに

今回、生物部部員などによる自然放射線の測定の実施は、身のまわりでの自然放射線について、学習し、理解を深める事ができた。文化祭での来室者による測定は来室者が自然放射線について知り、考える良い機会となったと思う。

今後、自然放射線の測定は、総合的な学習の時間や理科などの教科の授業の中で、実施の検討が進められると期待できる。

［参考文献］

（１）「はかるくん」を活用するために　副読本・１（放射線）　文部科学省　財団法人　放射線計測協会

（２）取扱説明書　簡易放射線測定器「はかるくん」　財団法人　放射線計測協会

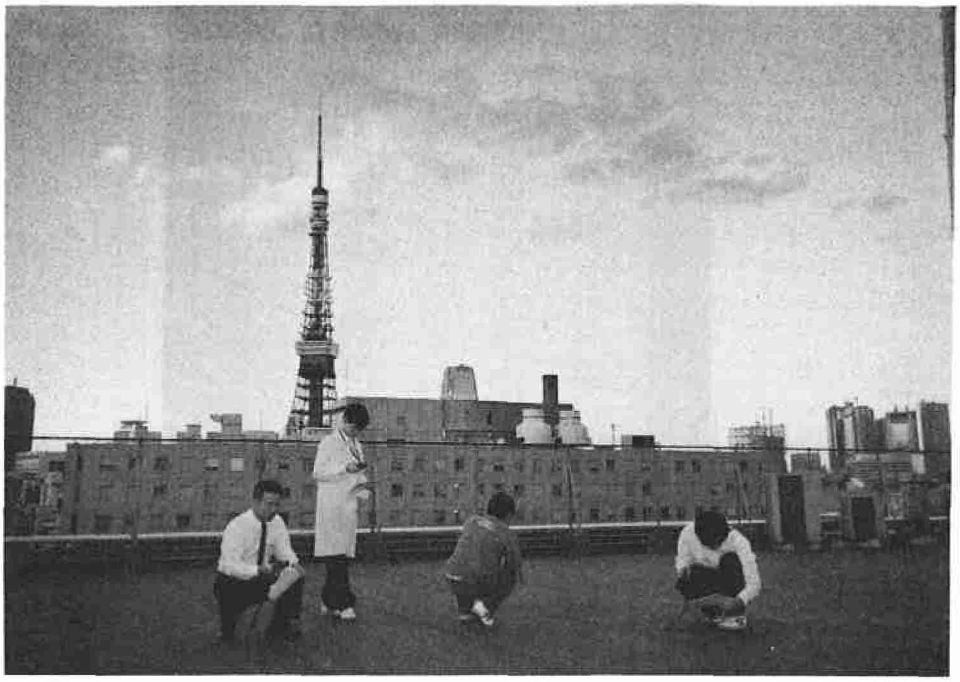
（３）「はかるくん」による自然放射線　測定結果（平成２～１０年度）　文部科学省　財団法人放射線計測協会

写真

（１）写真１

校舎屋上測定地点

（東京タワー方向にて）



（2）写真2
校舎屋上測定地点
（慶応大学方向にて）

（3）写真3
文化祭
測定方法の展示

（2003年　3月　7日受理）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p.9−14 (2002)

２１世紀の環境問題

高木　伸司
神奈川大学　理学部
（〒259-1293　神奈川県平塚市土屋 2946）

１．環境問題の始まり

表題は、「21 世紀の環境問題」となっていますが、21 世紀の問題を考えるためには、これまでの環境問題を振り返ることもまた必要かと思います。そこで主として日本における環境公害問題について、一部地球大のことも含めてその歴史的な経過について述べ、どうしたら 21 世紀の環境問題が、解決の方向に進むかについての考えを述べようと思います。

日本において全国大での環境問題（当時は公害問題と言いました。）に火がついたのは、1960 年代の後半からです。公害による環境の悪化が問題とされ、火力発電所を所有する電気事業などは至急その対策をとるように求められました。一方欧米諸国でも、どこに線を引くかは議論のあるところとしても 1960−1970 年代には環境問題が浮上しているところが多くなっています。

これらのことは要すれば環境の悪化が進んだと言うよりは、公衆あるいは行政にとって、環境についての許容限度値に近づきあるいは超えるようになり、もう我慢ができない状態になった為かと思います。それも日本のみならず、世界各国においてです。

日本においての 1960 年代後半に始まった環境公害問題で何とかするよう求められた対象物質は大気中の硫黄酸化物（二酸化硫黄…一般に言う亜硫酸ガスともっと強烈な作用の三酸化硫黄…別名無水硫酸の２種）でした。演者は、1960 年からの時期を日本における環境問題の第１ステージと呼ぶことができるかと思っています。

第１ステージでまず問題となったのは、硫黄酸化物（よく SOｘ…ソックスと言います。）ですが、簡単に第２軍が出現しました。それは窒素酸化物（NOｘ…ノックスと言います。）です。これはいくつかの窒素と酸素の化合物の総称です。さらに窒素酸化物のお後に控えしは…、と次から次へと新手が登場しまして、それに大気だけでなく水域・土壌と環境問題は拡大しました。

さらに 1980 年代頃には、演者が第２ステージと名付けたい新種（？）の環境問題が発生しました。それは第１ステージの汚染が発生源の比較的近くに影響があったのに対して、地球大での環境問題と云えるものです。引き金となった物質は二酸化炭素（炭酸ガス）、フロンガスなどの化学物質かもしれません。しかし、前者は地球大の温暖化現象を生じ、後者はオゾン層の破壊による有害紫外線の地表面への到達などを生じました。もはや特定の化学物質による比較的狭い地域での環境問題とは云えなくなりました。地球の温度と言っても地表付近大気層の温度ではありますが、それが上昇し気候変動を生じると云われるようになったのです。

これらの第２ステージにおける環境問題は、第１ステージの時とは異なり、影響が地域的ではなく地球大になったことです。気温上昇は生態系の変化をもたらし、さらにはヒトの生活への影響が懸念されています。オゾン層破壊に伴う有害紫外線の増加は、赤道地域での皮膚がんの増加につながります。

第１ステージでも大西洋沿岸諸国製の硫黄酸化物がドイツの森林を枯らしたと言う、準（？）地球大の環境問題が生じています。しかし、第２ステージの環境問題はスケールが大きくかつ深刻です。21 世紀の環境は、後述しますが、この解決が容易とは云えない課題を抱えているのです。

2．環境問題とヒト

環境問題を検討するに当たって、地球上に住むヒトのことは十分に考えるべきことであると思います。図1に世界の人口の予測を示します。現時点では、約60億人、この予測では、2050年には、約94億人に達するとしています。しかもその大半(約90%)が発展途上国（英語では、developing countries と言います。）です。

地球上の適正人口の評価はその方法によりまちまちだと思いますが、演者は約26億人という数字を記憶しています。もしもこれが正しいとすると、現在ですら適正人口の2倍以上です。それに人口増は人口の大半を占める発展途上国で生じていることが後述するように問題となるのです。

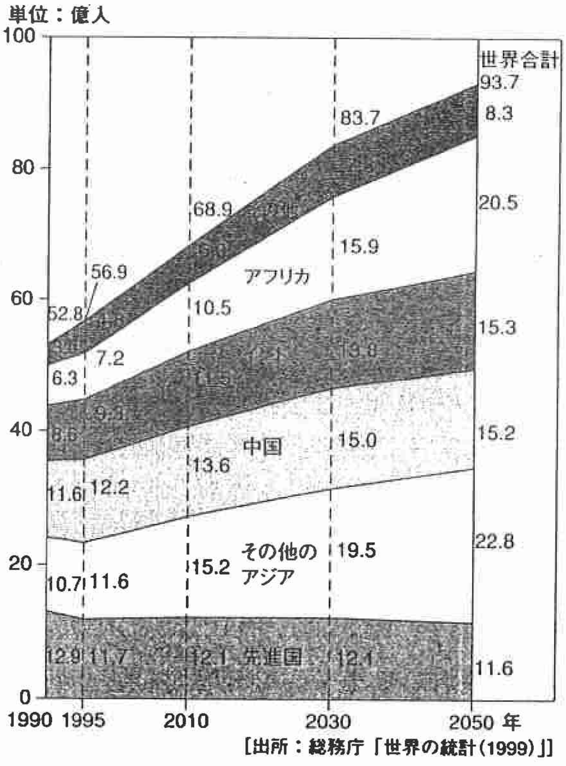


図1．世界人口予測

図2は世界の炭酸ガス（CO_2）の排出量を示します。炭酸ガス排出量の増加が見込まれるのはアジア・中東など、発展途上国が多い地域です。生活レベルの向上は人類共通の希望でありましょう。アジア・アフリカの大部分はいわゆる発展途上国が多く、そう遠くない将来に先進国並みの生活水準の獲得を目指すことと思います。

生活水準の向上はエネルギーの消費増加とほぼ同じです。エネルギーは少なくともそう遠くない将来まで、化石燃料（石炭・石油、天然ガスなどのことをまとめてこう言います。英語の fossil fuel の和訳です。）の燃焼により発生させるのが主流ですから、大気中への炭酸ガス排出量は激増することになります。実際は各種の制約条件があります

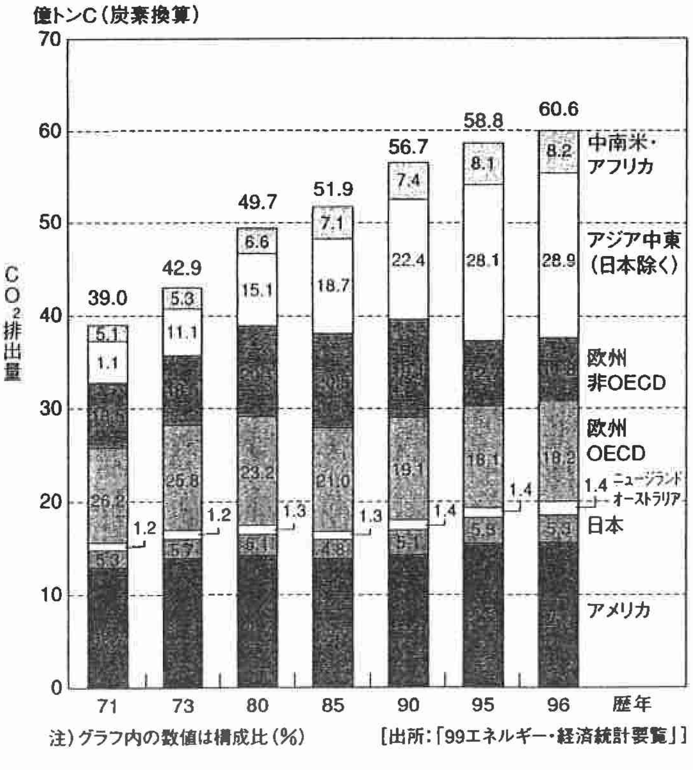


図2．世界の CO_2 排出量

のでこのような予測通りにはならないかもしれませんが。

ここで演者が強調したいことは、エネルギー源である化石燃料は、地球環境（岩石圏と言う。）より採掘し、他の地球環境（主として大気圏その他）へ放出しているということです。これらの環境中の物質の移動は、ヒトが居ないと生じません。すなわちヒトは生活レベルの維持目的のために（ヒトの都合で）環境に人工的変化を加えていると言うことであります。

食糧生産もエネルギー発生とは異なりますが、人工的環境変化といえると思います。ヒトはパンのみで生きるのではないのかも知れませんけれども、パンが無くては生きられません。かくしてヒトは、森林を焼き、あるいは伐採して農耕地を作りました。

森林を焼いて作る耕地は焼き畑と言いますが、焼き畑は使用しなくなるといずれ自然(森林）に戻るから環境破壊ではないと言う人がいます。しかし使用中止の焼き畑がもとの緑豊かな森林に戻るには相当長期間（数十年以上と云う人もいます。）を要し、その間はもとの環境（森林）ではありません。

これらのヒトによる地域環境変化についてですが、後述しますが 1972 年スウェーデンのストックホルムで採択された「人間環境宣言(Declaration on the Human Environment) などの国際的活動を通して、環境における「持続可能性（sustainability)」の概念を国際機関において定着させました。

持続可能な環境とは、いろいろな言い方があるでしょうが、要すれば、「環境をこれ以上悪化させないで、ヒトに必要なものを環境から取り出し、また環境へ返せるようにする」そのような環境であります。この考え方はきれいごとではない、現実的な知恵と云えますでしょうか。

３．環境と社会・行政

環境問題の一つの特徴は社会と密接な関係にあることでしょうか。例を挙げれば自動車排ガス中の窒素酸化物は特に都市の大気汚染の主要原因の一つですが、これは事実ですがしかし社会生活と極めて密接な関係にある自動車の使用に制限を加えることは多分できません。

環境問題については種々の立場にある機関なり人がそれぞれ発言をしていることが特徴と言えましょう。一つの立場の考え方を聞いたのみでは環境問題の解決はできませんし、またその解決方法を実施しようとすると多分壁に衝突するでしょう。

環境問題は公衆の問題であると同時に、公害発生源となる主として企業、さらにはこれらを規制する行政、国と地方公共団体（都道府県、市町村のこと言います。）の問題でもあるのです。

第１章「環境問題の始まり」で述べたように日本における環境問題がクローズアップされたのは 1960 年代半ばのことでありますけれども、これは全国大のことであります。地域的には、あるいは一般公衆に対してではなく特定施設、特定地域の住民などについてはかなり以前より環境関連の動きがあります。本章ではこの概略を述べます。

しかしながら江戸時代以前にさかのぼることはせず、明治時代以降についてごく概略を述べたいと思います。

行政側から見た環境問題の３側面として、

① 人命に危険を及ぼす環境の脅威への対応

② 環境の利用上の規則

③ 環境保全

の３つがあると環境白書は述べています。

①の例：明治時代（1870－1910）のコレラ流行への対応としての伝染病予防法の制定や洪水防止目的の砂防法の制定

②の例：水利権（江戸時代にさかのぼる芦ノ湖の例）
工場法の制定、しかしこれは工場側の操業上の不利益を伴うため、施行は難航しました。（制定明治 44 年、施行大正５年）

足尾銅山排水中の銅の規制（施行昭和 43 年、昭和 44 年閉山で遅きに失しました。）

③の例：これは不利益を受ける者が少ないので、比較的容易に規制されます。

例：明治6年大政官布告で名勝・古跡の保存
明治30年　古社寺保存法
昭和　4年　国宝法
昭和　6年　国立公園法
昭和25年　文化財保護法

など早くから法規制が行われてきました。

これらの例から推測できますように、不利益を被る立場の者は法規制に抵抗し、また規制内容を骨抜きにしようとします。環境問題は社会問題の側面があり、少なからざる場合にこのことが表面に出て解決を遅らせることになりがちです。

以上は国内の話ですが、前述したように環境問題は国際的になっています。1977 年に経済協力開発機構（ＯＥＣＤ）は日本の環境政策をレビューし、非経済的・道徳的と批判しました。しかしこれは演者の見解では、いわゆる最適化（optimization）が日本人になじみにくいことがあり、最適化について抵抗が少ない外国人からみると前述のような批判になったのでしょう。

なお、最適化はもともと日本にない概念で簡単に説明することは難しいのですが、誤解を招くのを承知で敢えて述べれば、物事の決定はどうすれば最も経済的かと言うことであります。前述のＯＥＣＤの批判にある「非経済的」と云う批判の文言と比較してみて下さい。

さて、環境問題は第２章に述べましたように、特に演者の言う第２ステージの地球環境問題が中心課題となって以来、国内問題ではなくなったことは勿論、例えば欧州のような地球の一地域の問題でもなく、地球全体の問題として捉えられるようになっております。

20 世紀から 21 世紀にかけて国際的活動が盛んになってきました。どこが始まりかとは見解の相違もありましょうが、第 2 章で述べた「人間環境宣言（1972 年)」は初期の国際活動における一大成果であります。

しかし 21 世紀の現在でも「人間環境宣言」で述べている「調和と共栄」の理念の現実は 100 点満点で何十点差し上げたらよいのでしょうかと言うところがあります。国際的環境問題は、問題点の指摘は早くかつ明快でありますが、その解決は英語で恐縮ですが slow and steady なのかと演者は考えております。

国際社会において、いや日本国内においても、環境問題についてのコンセンサス（同意）を得ることは必ずしも容易でないことは前述のパラグラフで述べ述べたことから想像できることであります。コンセンサスを得るということは、言い換えれば歩み寄りの必要を意味すると演者は考えておりますが、これはどうしたらよいのでしょうか。

一時期「宇宙船地球号」と言う言葉がよく用いられたことがあります。どうしたらこの言葉が観念でなく、地球に住む一人一人のものとなるのでしょうか。疑問ばかり申しましたが、環境問題は社会的側面を持っていますので、それこそ地球に住む一人一人が解決に向けて協力し合うことが必要とかなと演者は考えます。

４．21 世紀の環境問題

ようやく本題に入りますが、要すれば 21 世紀の環境問題は、第一義的には地球環境問題、つまり本講演で述べる第２ステージの環境問題であることは明白で、どなたでも容易に理解できるところであります。

地球環境問題は第１章で述べましたように、1980 年頃には生じていました。当時の有識者をはじめ、国際機関、各国の責任者が解決に努力しなかったのではありません。いやむしろ積極的に動いたと演者は考えていますが、解決は 21 世紀に持ち込まれました。20 年前後の歳月を要してもなお、なのです。

国際連合環境計画（United Nations Environmental Program, 釈迦に説法かもしれませんが、特に外国では何とかプログラムと言う名称をもつ機関が存在します。この国連環境

計画も国際機関で、「計画」の名称ではありません。）によりますと、世界の 50 カ国の有識者が上げた 21 世紀問題のトップ 10 は

1．気候変動（温暖化など）
2．淡水資源の不足
3．森林破壊と砂漠化
4．淡水の水質汚染
5．統治能力の不足
6．生物多様性の減少
7．人口の増加と移動
8．社会的価値観の変化
9．廃棄物の処分
10．大気汚染

となっています。

このうち社会科学的問題である５，７，８を除けばすべて環境問題です。また７は社会科学的問題ではありますが、１－４，６，９－１０のすべての環境問題に関連することは、不十分かもしれませんが、本講演第２章で述べた通りです。

細かく見ますと、人口増加・移動に直接・間接的に結びつくのは見方にもよりますが、２.淡水資源不足、３.森林破壊と砂漠化、４.淡水の水質汚染、６.生物多様性の減少であり、１.気候変動（温暖化など）、９.廃棄物の処分、１０.大気汚染 は、人口増加によるエネルギー発生・使用量の増加、特に化石燃料燃焼に伴うと言うことができましょう。なお、９.廃棄物の処分 は化石燃料利用よりもむしろ原子力利用に伴うのが、主であると考え、本章では 1.気候変動（温暖化など）について論じてみようと思います。

気候変動（温暖化）についての国際取り組みのルーツは 20 世紀後半より 21 世紀にかけて進められてきました。この国際的取り組みは第 3 章で若干ですが述べています。ここでは現時点でのこの国際的取り組みとして二つの国際会議について最近の動きの、ごく概略を述べることにします。

一つは第 18 回世界エネルギー会議（ＷＥＣ，World Energy Conference）で 2001 年 10 月 21 日（日）から 25 日（木）まで、アルゼンチンのブエノスアイレスで開催されました。本国際会議は 99 カ国、3000 人余の規模で、メインテーマは「エネルギー市場：新ミレニアムの課題」であります。

本会議ではエネルギーに関する技術的・社会的課題について討議され、国際的連帯強化が表明されました。最終日に、第２章で述べた「持続可能」な成長には原子力は水力と並んで重要な選択肢であるとした「結論と勧告」を採択しています。ＷＥＣでは 21 世紀のエネルギー問題に原子力は重要な役割を果たすと考えていると演者には思われます。

一方気候変動（地球温暖化）により直接的に関係する国際的動きとしては「気候変動枠組条約第 7 回締約国会議（ＣＯＰ７）」が 2001 年 10 月 29 日（月）－ 11 月 10 日（土）、ＷＥＣの会議に続いてモロッコ、マラケシュで開催されました。ＣＯＰ７は国際条約に基づく会議でありますから条約の締約国の政府代表国を中心とする国際会議です。日本も締約国であり、この会議は川口順子環境大臣（当時）が日本政府代表となっています。

この会議は 1997 年のＣＯＰ３会議（京都開催）で地球温暖化防止を定めた、いわゆる「京都議定書」の運用則を各国合意の下で定めることを目的としていました。

京都議定書では温室効果ガスの削減目標を定め、いわゆる京都メカニズム（排出権取引など）を認め、また温室効果ガスの吸収源の利用を認め、また温室効果ガスも指定しました。厳しい削減目標と、しかしその実行には十分な柔軟性があることが、京都議定書の特徴であります。

京都議定書は言わば、原則論でありますから、その具体的実施方法策定については締約各国の国情の相違というか利害関係の対立というかが生じました。京都議定書（ＣＯＰ３）以降 4 回目のＣＯＰ７において難産の末、締約各国の合意が成立しました。

しかし、義務不履行に対する措置、発展途上国関連問題、温室効果ガス吸収源など、一

応の合意は成立しましたが、これらの合意が約束年月までに完全に実行されるかは今後の問題と演者は考えます。21 世紀の主要な環境問題は解決に向かって歩み出したと言えますが、しかし、あらゆる関係国・関係者の今後の協力が必要でしょう。

例えば、世界最大の炭酸ガス発生国である米国は、現時点で気候変動枠組条約から脱退を表明しています。米国の脱退理由は、発展途上国に対するＣＯＰ会議の態度に不満足と言うことであります。しかしながら米国抜きでは気候変動枠組条約における合意は実効性を持つでしょうか。今後米国の再参加への各国の努力が期待されています。

もう一つは、演者の独断と偏見かもしれませんが、ＣＯＰ７での合意の一つに「原子力による共同実施及びクリーン開発メカニズムについては、2008 年～2012 年の間の数値目標達成の為には用いない。」と言うのがあります。これは原子力発電の明確な否定ではないものの、ＣＯＰ会議参加者の中に原子力は好きではない人が多いのかと解釈できるように思います。

以上２つの国際会議を例示しての 21 世紀の最大の環境問題と演者が考えております、気候変動（温暖化）の解決への動きが始まったことを述べました。今後の国際的な動き（例えば 2002 年 10 月－11 月）に開催予定のＣＯＰ８など）に注目したいと思います。

５．まとめ

独断と偏見もあろうかと思いますが、21 世紀のもっとも大事な環境問題は地球温暖化（気候変動）と考え、その解決に向けての国際的取り組みについて述べてきました。立ち止まることはあっても後戻りすることはないと信じて今後の歩みを見守ることにしようと思います。

しかしここで、一つ注意しておくべきことがあるように思います。本講演ではなんとなく地球環境規模の問題のみが 21 世紀の環境問題のように述べ、特定物質による地球環境汚染は 21 世紀の環境ではなくなったような印象を与えたかもしれませんが、これは訂正が必要のようです。

例えば大気中の窒素酸化物濃度は目標値達成が容易でありません。この大気汚染物質の発生原因は空気が高温にさらされることですから、燃料を燃焼させエネルギー源として利用している限り必ず発生します。それも燃焼温度が高いほうが発生量は多くなります。

この形のエネルギー利用は日常生活に密接につながっています。例えば自動車で、これを運転する人は同時に大気汚染物質を発生させていることになります。もっとも乗用車のエンジンより大型トラック等ディーゼル車の方が燃焼温度が高く発生量が多いのは、一般庶民にとってせめてもの救いかもしれません。

ここで言いたいことは、一般公衆は常に環境問題での被害者であり続けるとは云えないと言うことです。それではどうしたらよいのでしょうか。演者には正解を用意することができません。皆で考えてついには行政を動かし、現状より少しでも良くする方向へ持っていこうとする努力かな、と考えております。

言い換えますと例えば大気中の窒素酸化物問題は、主として自動車交通の多い都市の問題で地域的なことかも知れません。しかし暮らしを豊かにするため自動車は必需品でこれを無くすことはできません。それではどうしたらよいのでしょうか。皆さんも考えなくてはなりません。地球温暖化に比べればスケールが小さいかとは思いますが、大気中の窒素酸化物問題は 21 世紀の今でも環境問題であり続けているのです。

もう一つの例は大気中の炭酸ガスのことです。これは地球環境問題であり、国際政治で解決を目指そうとしているのは第４章で延べた通りです。でも少し考えてみて下さい。炊事・暖房など日常生活で一人一人の量は少ないかも知れませんが、大気中に炭酸ガスを一般公衆も放出していることです。

環境問題の解決は大きくは国際政治から一般公衆一人ひとりに至るまで、何かしらの責務があると云えるように思います。地球上に住む全員が、環境問題について歩み寄り合意を形成できるように努力することが必要かなと思う次第です。

（2003 年　2 月　28 日受理）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p. 15－20 (2002)

新聞報道にみる原子力：2002年1～12月予備調査

笹川澄子
（財）環境科学技術研究所
（〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村　e-mail: ssgw@ies.or.jp）

［要　約］

2002 年 1～12 月に青森県内で配布された新聞のうち入手できた朝日、毎日、読売東奥日報、デーリー東北の 5 紙に掲載された原子力関連の記事を収集し、集計した。青森県に特化される記事として、国際熱核融合実験炉、MOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）加工工場、8 月末に公表された東京電力の原子力発電所検査データ不正報告、等々に関連する記事がそれぞれ時系列的に変動しながら多数あった。これらの結果と併せて、メディアリテラシーに対する認識の必要を考察した。

はじめに

前報（1）で、新聞報道にみる原子力の実態を確認したいと考え、短期間ではあるが原子力関連の記事の数や内容等を予備的に分析した結果を報告した。今回は予備的な段階を乗り越えることがまだできていないが、その後追加したデータを報告し、併せて、メディア批判ではなく、むしろメディアがもたらす情報を取捨選択したりあるいは読み解いたりする能力「メディアリテラシー」を認識する必要と、メディアリテラシーを養っていく必要を強調したい。先輩諸氏の批判を仰ぐとともにご指導を賜ることができれば誠に幸いである。

方　法

対象新聞：青森県内で配布された新聞で、全国紙の朝日、毎日、読売の 3 紙、青森県の地方紙の東奥日報（以下、東奥）、デーリー東北（以下、デリ）の 2 紙、計 5 紙を調査対象とした。青森県の地方紙として弘前地方を主な配布範囲としている陸奥新報は配布域外で通常の手段では入手できなかったため、そして、東奥日報の夕刊は入手できなかった時期があるため、対象に入れなかった。2002（平成 14）年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの上記新聞に掲載された原子力関連記事を可能な限り収集した。
分類：前報（1）では以下の 7 カテゴリーを設け分類することを試みた；1. 六ヶ所村に立地する日本原燃株式会社に関連するもの（JNFL と記す。以下、カッコ内文言を同様に分類名とする）、2. むつ市の旧原子力船「むつ」およびむつ市が東京電力に誘致している使用済み核燃料中間貯蔵施設に関連するもの、3. 青森県が誘致運動をしている国際熱核融合実験炉に関連するもの、4. 青森県内および国内外の原子力問題に関連するもの、5. 原子力に反対する政治政党や市民グループの活動に関連するもの、6. 特集ものや記者や評論家あるいは専門家の論評記事および科学記事など、7. 新潟県刈羽村と三重県海山町の住民投票に関連するもの。今回は別の試みを一部加え、以下の 8 カテゴリーを設けた（カテゴリー名：説明）；

ACCI　：全国の原子力関連施設における種々の事故報告等に関する記事
ANTI　：原子力に反対する政治政党や市民グループの活動に関連する記事、前報（1）と同様
CRIT　：特集ものや記者、評論家あるいは専門家の論評記事、科学記事等、前報（1）と同様
ITER　：青森県が誘致運動をしている国際熱核融合実験炉に関連する記事、前報（1）と同様
JNFL　：六ヶ所村に立地する日本原燃（株式会社）に関連する記事、定例的な報告に関する記事等、前報（1）と同様
MUTSU：むつ市の旧原子力船「むつ」およびむつ市が東京電力に誘致運動をしている使用済み核燃料中間貯蔵施設に関連する記事等、前報（1）と同様
OTHER：7分類以外の全て
TOPIC　：本報告では2つの事柄を含んでいる。1つは日本原燃がMOX（ウラン・プルトニウム混合酸化物）加工工場を建設するにあたって青森県知事と取り交わす安全協定やMOX等、MOX燃料加工施設に係る安全性チェック・検討会（2001年9月17日発足、2001年8月24日に日本原燃が青森県に立地協力を要請し、それを受けて青森県が設けた）等に関連する記事。もう1つは、東京電力福島第一・第二原子力発電所と柏崎刈羽原子力発電所計13基で1980年代後半から1990年代前半にかけての自主点検記録に虚偽があったという2002年8月29日経済産業省発表に関連する記事

今回は、いくつかの経験を踏まえ、散見された原子炉の事故などの義務的な報告はACCIとして分類した。前報（1）と同様に、分類方法は特に決められたものでなく、個人的趣向や偏見を排除できないこと等いくつかの問題がある。今後様々な試行が必要と考えている。

結果と考察

2002（平成14）年1月から12月までの1年間に収集された記事は総数3221件、月平均268件（最少127件、最多662件）であった。各紙の月平均は、朝日55件、読売40件、毎日40件、東奥68件、デリ64件であった。これらを図1に示した。

記事の件数をみると、年明けの1月は特記すべきことなく比較的平穏に経過したと見受けられた。6月まで僅かながら増加する傾向を示し、7、8月は夏休みの中だるみ的様相を呈した後、9月に突如として急増し662件を数えた。これが月平均記事件数を増やした。各紙の月別件数は、8月を除いて全国紙よりも原子力立地地元を反映する地方2紙が多かった。しかし、8月は全紙とも年間月平均の倍以上を数え、特に全国紙の増え方は地方紙よりも顕著であった。

記事の内容を上記カテゴリーに分類し月別に集計した（図2）。カテゴリー別ではTOPICが注目される。6月まではもっぱらMOXが占め、1、2月は4件、3月は2件であった。8月になると29日に発表された東京電力の虚偽報告が30日に一斉に報道され、9月はそれを反映して1紙当たりの平均132件と著しく増加した。他のカテゴリーでは、OTHER

と ACCI が 9 月に増加しているが、TOPIC の影響を受けて増えた部分もある。5、6 月は青森県が誘致を進めていた国際熱核融合実験炉の国内候補地が国レベルで決定される直前にあったためにそれに関連する記事（カテゴリー　ITER）が増えた。一方、5～8 月は上記の増えたカテゴリーに圧されて JNFL は減少した。その他のカテゴリーは相対的に数も多くなく散見される程度であった。筆者なりに興味を覚えた記事を 2、3 記述する。

その 1. 3 月 16 日の各紙には、ウラン濃縮工場の事業許可無効確認・取り消し訴訟に対する青森地裁の住民原告敗訴の判決に関連する記事が報道された。中でも毎日（25 ページ、身近な話題　地域のニュース）の六ヶ所村核燃裁判関連年表は歴史的な経緯を改めて理解させるものであった。

その 2. 読売（2002 年 11 月 14 日）の論点である。宮　健三氏（慶応大学教授）は後述するメディアリテラシーの定義の一つを示された。メディアリテラシーの必要を再認識し共感したのは筆者だけではないだろう。

その 3. 「原発用地買収」と偽った「被害者」の自作自演の短銃強盗事件（朝日、2002 年 12 月 6 日 35 ページ、青森、資料 1)。日本電源開発株式会社が原子力発電所を建設する計画を立てている大間町で発生した事件は、原子力と直接関係ないだけに、笑うに笑えない、むしろ哀れみに似たものをさそった。とはいうものの見過ごせない何かの兆候かもしれない（2)。

その他、今回も、同じ事柄でも見出しの記述が新聞によって違い、例えば「核燃料」あるいは「燃料」と「核物質」、「MOX 加工」と「MOX 燃料加工」、「MOX 加工場」と「MOX 加工工場」、「再処理施設」と「再処理工場」、「廃棄物」と「放射性廃棄物」、「六ヶ所村」と「六ヶ所」、「原発解体」と「商用原発解体」、「原船むつ」と「旧原子力船むつ」などがあった。新聞各紙がそれぞれの特徴をだす工夫とはいえ、紛らわしさを感じた。しかし、言葉遣いは注意を要すること（3）であり、特に専門家は用語や表現にこだわることも配慮することも必要だと考える。これらの言葉を、例えば小学生にもわかるように、しかも字数を制限して分かりやすく解説することを課せられたら、どのように記述したらよいだろうか。外来語の日本語への言い換えのように、日常無意識に使っている外来語を、言い換えない方がイメージ的にも分かりやすい言葉もあるとはいえ、いざ地元住民の方々、種々の職種に就いている方々、主婦層、高齢者から若い人たちにまでわかる日本語に言い換えるとしたら大変な能力と労力を要する作業になるだろう。原子力に関連する言葉や表現を各層の方々にわかる言葉や表現に言い換える作業も実に難しいが、必要なのである（4)。

前報（1）の繰り返しになるが、原子力関連記事の数と内容が事故、住民投票あるいは自治体首長選挙など社会的政治的な出来事に呼応して変化するのは、その度に議論される原子力利用に関わる「安全性」や「経済性」等の問題が、「科学技術」上の問題というよりもむしろ社会的経済的な問題として情報を発信する側も受け取る側も認識していることを反映しているからにほかならないだろう。しかし、技術の「安全性」に関する問題は、原子力に限らず、科学的にあるいは技術的に評価する性質のものである。このような点を考えると、議論の種となる問題を読者が判断しうる客観的な評価あるいは科学的技術的な評価を提供することも新聞報道の役割だといえる（5、6)。国民の知る権利にも応えるこ

とになる（7）。

広報あるいは放射線教育の本来の役割の 1 つは、新聞などのメディアがもたらす様々な情報を正しく評価し取捨選択すること、つまり「メディアリテラシー」を地域住民を始め広く一般公衆に導きその能力を醸成していくことではないだろうか。これはメディアの特質や影響力に関する知識を習得することも含み、様々な研究や試行錯誤も要求される息の長い課題になるだろう。担当者にはそれなりの能力さらには資質といったものも要求されてくるかも知れない。21 世紀の広報あるいは放射線教育は、科学リテラシーを一方の、メディアリテラシーをもう一方とする両輪に位置づけ、敢えてこの課題に挑戦し、その方向に自らの活動の価値を見いだすことも大切ではないだろうか。

一般国民として、健康で文化的な生活を得ようとする時、我々個人個人が、他人任せ行政任せでなく、物事あるいは社会事象に対して問題意識を持って観察したり考えたり、そして自分たちに関わる問題として勉強し冷静に判断することが必要なのではないか。これは原子力に関連する科学リテラシーやメディアリテラシーに特化されるものではなく、食べ物、水、医療、環境汚染など今日のあらゆる分野に及ぶ、基本的な一般論でもある。

今回も記事の収集と分類に不慣れなことなどもあって詳細な分析に至らなかった。しかし、個人的な資料ではあるが、約 2 年間のデータベースを構築した。今後の課題として、記事をさらに収集してより大きなデータベースにし、それらを様々な角度から分析し、そして、原子力に関わる広報のあり方を考える上での材料にできればよいと考えている。先輩諸氏の批判を仰ぐとともにご指導を賜れれば幸甚である。

参考文献

1) 笹川澄子、新聞報道にみる原子力：予備的調査、放射線教育 20：27-34、2001
2) 地元記者報告、原子力施設立地地点、青森、暴力団関係者、大間原発用地の取得狙う？ 原子力 eye 49：82、2003
3) 柴田俊一、原子力船「むつ」の教訓、原子力 eye 49(2)：65、2003、2003 年 2 月号
4) 笹川澄子、放射線教育フォーラム勉強会に参加して、放射と産業 No.87：33-34、2000
5) 読売新聞（2002 年 10 月 12 日）、「新聞は必要」93%。信頼度 テレビに大差。本社全国世論調査
6) 朝日新聞（2003 年 1 月 8 日）、四半世紀の日本人。本社定期国民意識調査
7) 柴田俊一、先進国の原子力報道、原子力 eye 49(1)：37、2003、2003 年 1 月号

（2003 年 3 月 18 日受理）

図1 新聞別月別の掲載記事件数 2002年1～12月

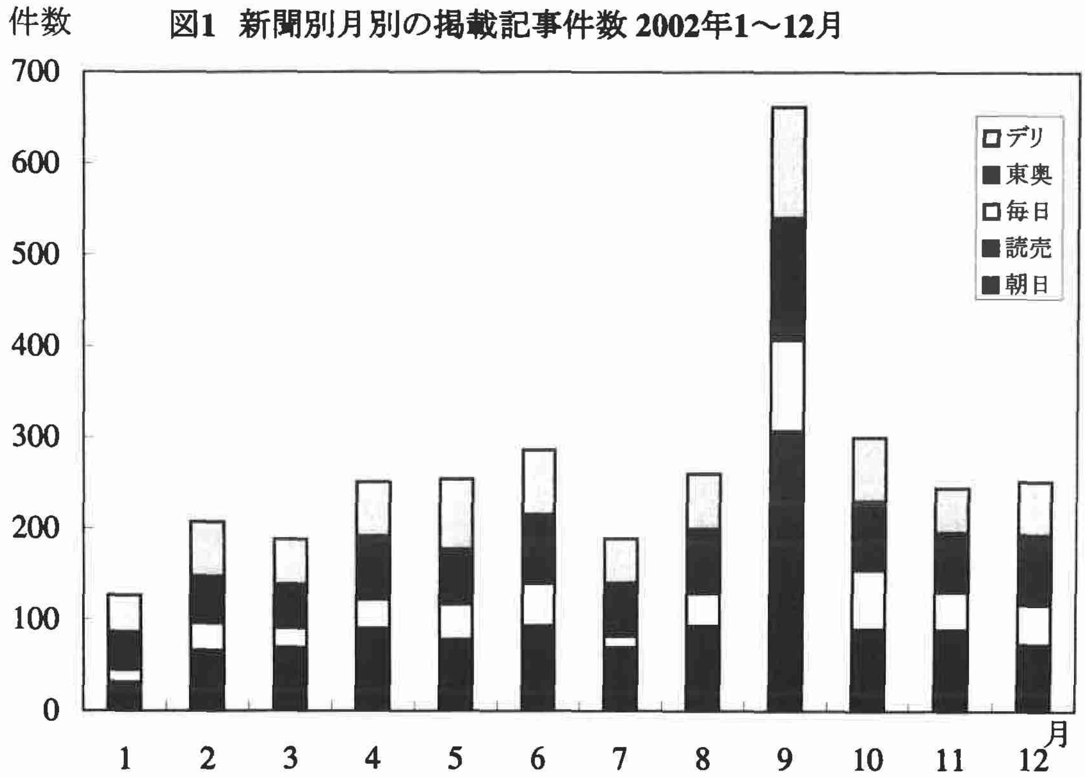
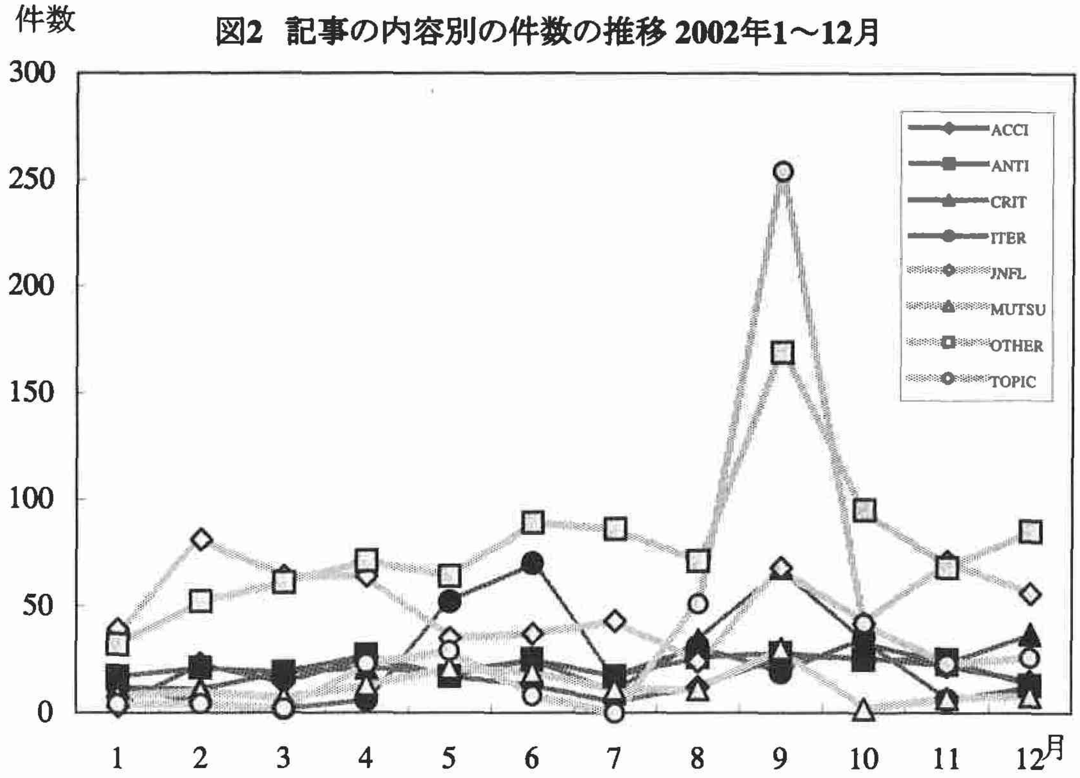


図2 記事の内容別の件数の推移 2002年1～12月



35 青森 12版▲ 2002年(平成14年)12月6日 金曜日 朝日

青森

大間

短銃強盗は「自演」

横領容疑 3人逮捕 「原発用地買収」偽り

下北半島を揺るがした短銃強盗騒ぎは、「被害者」による自作自演だった。県警は4日夜、会社の資金を着服したとして、むつ市内の土木建設会社の社員ら3人を横領容疑で逮捕した。社員らは10月、車で輸送中の7千万円を奪われたと訴えていたが、県警はうそと断定。5日までに3人の自宅など数カ所を家宅捜索した。また、7千万円は、大間地区で進む原子力発電所建設予定地の買収資金名目で社長がだまされて用意したことも分かった。

逮捕されたのは、むつ市関根、会社員山崎竹助(51)▽住所不定、元会社役員木下憲一(50)▽大畑町大畑、無職松本治(42)の各容疑者。山崎、木下両容疑者は容疑を認め、松本容疑者は否認しているという。

調べによると、山崎容疑者らは10月21日、勤務先の土木建設会社社長から預かっていた7千万円を、車で輸送中に短銃強盗グループに奪われたように見せかけ、着服した疑い。山崎、木下両容疑者は同日、大間町大間の海岸沿いの空き地に止めた車の中で、粘着テープで縛られた状態で通行人に発見された。

山崎容疑者は犯行前、周囲に「原発の土地を買う」と話しており、社長は原発用地の売買が成立したとだまされ、7千万円を用意したという。

原発建設予定地の地権者は、朝日新聞の取材に対し、「(山崎容疑者の会社の社員が)8月に2回来て、土地を売って欲しいと言われたが、断った。山崎(容疑者)は9月になってから4、5回は来ている。強盗事件の3日前にも、すし折りを持ってやって来た」と話している。

「予想された成り行き」

風間浦村 大間町住民 容疑者ら言動不自然

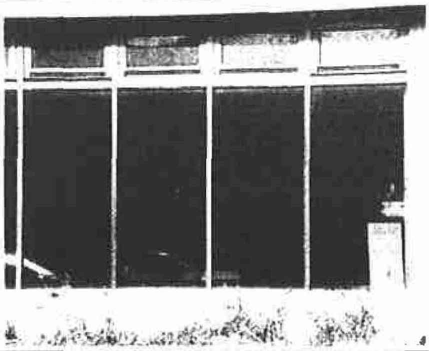
やはり自作自演だったか——。「短銃強盗事件」の舞台となった大間町と風間浦村の住民らには、驚きより、「予想された成り行き」という受け止め方が多い。事件発生当初から、山崎竹助容疑者らの言動が不自然だったためだ。

山崎容疑者らの車を発見して大間署に通報した男性は事件後、朝日新聞の取材に対し、「近づいたら(同容疑者らは)全身が粘着テープでぐるぐる巻きになっていた。でも、雨なのに運転席側の窓ガラスが開いていて、自ら口元のテープを取って話し始めたので、おかしいと思った」と話していた。

また、これまでの県警の調べに対して、同容疑者らは7千万円の使途を「大間町のマグロ漁船の買い付け資金」と話したが、取引相手とされる男性は否定し、証言が食い違っていた。

さらに、同容疑者らの車が白昼、国道279号沿いの駐車場で覆面姿の3人組に襲われ、7㌔先の同町内の海岸近くまで運転させられたというにもかかわらず、目撃者が全くいなかったことも奇妙だった。

同町の漁業の男性(48)は逮捕を知って「やっぱり。犯人が、なぜ被害者が車に大金を持っていると知っていたのか不思議だったんだ」と話した。



木材工場跡の事務所内を家宅捜索する捜査員=5日午前11時ごろ、大畑町で

風間浦村の商業の女性(63)は「日中、国道沿いの駐車場で覆面をした男が3人もいたら、通りがかった人は誰か見ていたはずだと思った。村では狂言ではないかという話で持ちきりだった。早く解決して良かった」と安心した様子だった。

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p. 21−30 (2002)

元素合成

荒谷美智
（財）環境科学技術研究所
（〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村尾駮家ノ前１－７）

[要約]中世の錬金術は卑しい元素（鉛）から貴い元素（金）を合成しようとしたが、それらの試みはすべて失敗に終った。核についての概念が無い時代のことであるから、当然の結果ではあった。しかしながら、それらの試みによって多様な副産物が創り出され、膨大な物質情報が蓄積されることによって近代化学の発祥が着実に準備されたこともまた確かな事実であった。一方、人類にとって新しい未知の光（放射線＝X線）を発見した時、レントゲンは最初の論文で「**エーテル**の縦波を発見した」と報告した。X線の発見が発端となって核の概念が確立され、今や人間は元素合成に原理的に成功したが、発端におけるこの旧思想と新発見の緊張関係について考察し、現代における元素合成の最前線を概観する。

１．一元から多元への元素観の変遷

元素は、現代ではれっきとした科学概念を表す言葉であるが、歴史的には「この世界における絶え間ない、あらゆる変化を理解するための根源的物質」というほどのことを意味する哲学者の言葉であった。ここで「あらゆる」というのは、単に物質的変化ばかりでなく、愛や憎しみという精神的な変化にかかわる親和力（引力）や反撥力（斥力）というものも含めて、今でいう四つの力に相当するものとして物質と深く関与していたからである。

ギリシャ人の豊かな植民地イオニアで人々が閑暇（スコーレー）を持てるようになった時、哲学者という閑人の存在が社会的に可能になり、ターレスは「万物の根源は水である」と述べた。これは一元論である。如何にもエーゲ海人の面目や躍如たる言説である。一方、中東の砂漠（石油）と関連してゾロアスター（ツアラトストラ）の拝火教に淵源を持つと思われるヘラクレイトスの「万物の根源は火である」という一元論や、また「万物の根源は大気である」という説もあった。あるいは恐らくエジプト起源と思われる「万物の根源は土である」という農本主義的な一元論もあった。

このような多様な一元論的言説を考慮に入れ、天上の元素アイテール（エーテル、燃えるもの）を第五元素に付け加え「五元素説」として大集成したのがアレキサンダー大王の家庭教師、哲学者アリストテレスであった。アレキサンダー大王もアリストテレスもギリシャ人には違いないが出身はマケドニアであり、例えギリシャだとしても、だいぶ田舎のほうの質実剛健なギリシャ人で、単なる軽佻浮薄なアテネ人ではなく、ペルシャ（イラン）を征服しインドまで進軍して来て、当時の世界を東の果てまで展望できる立場にあったことが、特定の一元論にこだわらない総合的な哲学を可能にしたものと考えられる。

一神教も含めて一元論の哲学は、もしそれらが幾つか出現したら、まさにそのことによって一元論として既に破綻していることを示すものと言わねばならない。あとは多元論に総合される（平和共存）か、修辞法（レトリック）を駆使して徹底的に相手を論破し、それでも駄目なら血で血を洗う闘争で相手を消滅させる他ないことになる。

アリストテレスは五元素説と共にそれらの運動論も展開した。根源的な物質として元素には、その本来の、あるべき自然な場所が決まっている。例えば、土は一番下にあるべき元素である。水はその上にあるべき元素であり、空気はまたその上にあるべき元素であり、火はさらにその上にあるべき元素である。そして、地上のこの四元素が、もし何らかの原因で、あるべき自然な場所でないところに置かれるならば、それらはすべて元あった本来の自然な場所に戻ろうとする。これが、アリストテレスの「運動」の本質である。ガリレオ・ガリレイが論争しなければならなかった相手は、このような運動論を振りかざして、「私は、ただ神が創り給うた自然という本を読むだけである」という敬虔なカトリック教徒のガリレイを異端に貶めようとしたのであった。なお、ニュートンの運動は、運動方程式　F（力）＝m（質量）×a（加速度）で示される。

横道にそれてしまったが、地上の四元素は地上（月下の世界）のみに存在し、何らかの非本質的な原因によって撹乱された結果としての現存する場所から、本来のあるべき場所を求めて運動する。一方、第五元素のエーテルは宇宙に充満する聖なる天上（月より上の世界）にのみ存在する聖なる物質で、太陽や星など燃える天体を構成する元素だと考えられた。エーテルは軽く、無色透明で、地上にあっても天上を目指す。中世にはアラビア人が錬金術に多大の関心を示し卑金属から貴金属を造ろうとして、結果的に化学の基礎を発展させることになったが、金ばかりでなくまた第五元素も探索していた。無色透明で、揮発しやすい（自然な場所である天上に向かう）燃える液体（エーテル）を得た時、これこそギリシャ人のいう天上の物質「エーテル」だと信じたのも頷ける。このように見てくると、われわれの『竹取物語』の世界観も基本的に、第五元素説の世界観と同等である、あるいは一脈通じるところがあると思われてくる。かぐや姫は、本来あるべき天上（月）の世界へと運動するからである。

近世は光学が発展し、光は「エーテル」の波だという波動説の時代であり、後にはさらに詳しく「エーテル」の横波であるという理論が展開された。実際に電波が発見され、しかも横波であることがわかり、電磁波に関する理論が実証された（1888年）。即ち 19 世紀後半においても科学の世界で古典的な「エーテル」の概念は、現実に生きて活用されていた概念であった。応用面でも実際に無線電信が成功している（1894年）。そして、電磁波理論のさらなる検証のため、未知の電磁波（光や電波）があるのではないか、と先を争って「低圧気体の放電現象」をめぐって研究が行われた。小さなガラスの放電管が、その時代の科学者にとって手に届く「ミニ宇宙」であった。レントゲンもその最前線にいた一人として、低圧気体放電による新しい電磁波について探究を進めていた。その放電管から、それまでに知られていたどんな光や電波とも違う電磁波が出ていることを突き止めた時、古い元素観の枠組みの中にある者として、レントゲンは、未だ見つかっていない「エーテル」の縦波を見つけたと確信し、1895年 12 月 28 日、そのような書き出しで新発見について「ヴュルツブルク物理医学教

会会報」に投稿した。この論文には、よく知られたレントゲン夫人の、指輪をはめた左手の X 線写真が掲載されており、新しい発見の応用の方向性が明確に示されている。

ここで強調したいことは、新しい発見が必ずしも新しい思想、新しい考えの枠組みに基づいてなされるものではない、ということである。エーテルはこの場合、最早古典的な意味での第五元素としてではないが、古典的な元素観に密接に関連する前時代の思想的残存物として実験者の宇宙観にがっちりと組み込まれていた、とは言える。これは、何もレントゲンの場合だけでなく、ケプラーやコペルニクスの精密な天体観測が、地動説という新しい考え方からなされたものではないことと同様である。必ずしも科学的な天体観測者であった訳ではないブルーノが、地動説を唱えて火あぶりの刑に処せられたのは、むしろ、反時代的イデオロギーとしての地動説が宗教上の異端と見なされたことによるものであった。この意味で科学者はイデオロギー的に保守的であっても、研究上妨げられないばかりでなく、歴史的に見て科学の最前線において充分善戦可能であった、ということができる。

元素が一つではなく、まして四つや五つでないことは明白になり、また、特定の元素が連続体ではなく、原子（アトム）という分割不可能な粒子から構成されており（不連続説）、ものの変化はそれら各種原子の集合離散による、と考えられるようになった。原子もまた、先ず哲学的概念として導入されたものであった。この時代に、ドイツにおいて鉄鋼業という今様錬金術が盛んになり、熔鉱炉内の温度を知るという実用上の必要から、熔鉱炉に小さい窓を付けてそこから観測される光の波長分布が炉内温度を知る指標とされた。このような光の研究をしていたキルヒホッフは、元素が高温で発する光をプリズムで分光すると、各元素がそれぞれ特有の波長の光だけを出すことに気付いた。元素のスペクトルの発見である（1859 年）。

2．多元論的元素観の確立と元素の不連続説＝原子の分割可能性の実証

一方、メンデレーエフは、原子量（元素の相対的の比重を表す量）の順に元素を並べてみると、似たような性質の元素が周期的に現れることを見出した（1869 年）。周期律の発見である。こと此処に至り、元素観は、多元論的なものとして一つの到達点に達したと見なすことが出来る。原子量の順に並べた元素の番号が原子番号と呼ばれ、原子番号と原子量の間に密接な関係があることが示唆された。また、その時点ですべての元素が発見されていたわけではないから、当然「空位」になるところもあれば、原子量では順序が「逆」になるところもあることになる。その際､周期的性質を優先して並べる順序こそ意味があると分ったとき、原子番号が発見された、ということができる。そして、周期表の「空位」に位置する元素の性質がその上下の元素の性質から予測され、実際に発見された新元素の性質がその予測に違わないことが示されるに至り、周期律の信頼性は一挙に増大した。そして、原子量は整数ではないが概ね整数に近いことから、どの元素にも水素が成分として含まれているのではないかとう考えが浮上してくる。

X 線の発見（1895 年）は、原子という哲学的概念の不連続性や不可分性を脅かすに至らなかったが、トムソンによる電子の発見（1897 年）は漸くその破綻を予感さ

せるものとなった。そしてキュリーらによるポロニウム、ラジウムの発見（1898 年）、ベクレルによるベータ線＝電子の発見（1900 年）、ラザフォードらによるエマネーションの発見（同年）、ラザフォードらによる放射性壊変説（1902 年）、そしてラザフォードにより、アルファ線が磁場によりベータ線と反対方向へ僅かに偏向することが発見（同年）されるに至り、電子に比べて遥かに重い陽電荷が原子内に存在することが示唆されるに至った。ここで、長岡半太郎による土星型原子模型の理論（1903 年）、トムソンによるスイカ型あるいは葡萄パン型原子構造論（1904 年）が相次いで提案され、原子は、分割不可能な究極の粒子であることをやめ、理論的に構造を持つもの＝陰陽あるいは正負の構成要素をもつものであることが明白となった。

３．核の発見と最初の核変換反応

1909 年に至りアルファ線が高速のヘリウム原子核であり、減速・中和されてヘリウムになることが突き止められ、1911 年には金箔によるアルファ線の散乱実験から、核が、原子の中心にある微小な粒子であることが発見された（何れもラザフォード）。さらにラザフォードは、アルファ線の空気中の飛跡が直線的に折れ曲がる場合があることから、空気中の窒素原子核（窒素 14）に高速のヘリウム原子核（ヘリウム 4）がぶつかり、酸素 17 と水素１（陽子）が生じたことが計算された。これは、

窒素 14＋ヘリウム 4＝酸素 17＋水素 1

と書くことが出来、人類が最初に見出した元素の変換反応である。酸素 17 については、より軽い原子核から成る二つの異なった元素から新たに酸素という元素合成がなされたと言うことができる（1919 年）。これは自然の加速粒子であるアルファ線を用いた核変換であり元素変換であった。この場合、変換の前後において原子量と原子番号が保存されている。なお、アルファ線による窒素原子の酸素原子への元素変換から、原子的レベルの粒子（原子核）の高速加速という概念が胚胎、すなわち自然を真似することにより高電圧発生装置の創製・開発が行われ、水素原子核（陽子）やヘリウムイオンの加速が行われるようになった。コッククロフトとワルトンが、陽子加速という純人工的な手段を用いて最初の核変換をおこなったのは 1932 年であった。

上記の核変換反応から、酸素は、酸素 16 だけでなく酸素 17 という普通の酸素（軽い酸素）より重い酸素の存在が示唆されることになった。また、同年、アストンはネオンの陽極線の電磁的分離分析（質量分析）により普通のネオン（軽いネオン＝ネオン 20）の他に少量の重いネオン（ネオン 22）が存在することを実証した。ここにおいて、同じ元素でも重さの異なる原子が存在することが明らかになり、これらは互いに同位体とよばれることになった。これらの二種のネオンは、その軽重にかかわらず、元素の周期表においていずれもネオンの原子番号の位置に置かれることによった呼称である。

一方、1928 年アトキンソンとハウターマンスは、それまでの長い間、説明のつかなかった恒星の放射する莫大な輻射エネルギーの源について次のような核融合反応を導入した。

陽子＋陽子＝ｶﾞﾝﾏ線＋重水素→
重水素＋陽子＝ｶﾞﾝﾏ線＋ヘリウム3
ヘリウム3＋ヘリウム3＝ヘリウム4＋2×陽子＋26 MeV

これらの軽い核同士（例えば、重水素と重水素）の発熱型の核融合反応は、実際にコッククロフトとワルトンによって彼らの製作した加速器を用いて実験的に見出された（1932)。核融合のほうが核分裂より発見が早かったのである。

4．核変換によるよるエネルギーの取り出し ― 実用化への道（爆弾と発電炉）―

1919 年にネオンの同位体が発見されると、核の中に陽子と同じ程度の重さを持つ中性の粒子が存在しなければならないことが複数の研究者により予想された。しかしながらこの粒子（中性子）は、なかなか発見されず、1932 年に至り漸く発見され（チャドウィック)、同位体の存在する真の原因が解明された。

1934 年にはイレーヌ・ジョリオ - キュリーらによる中性子の照射により多数の人工放射性元素が発見され、1936 年にはハーンとマイトナーらによりウラン 238 の中性子照射によりウラン 239 の生成が認められた。1938 年にはウランが中性子を捕獲して二つに分裂するという見解をマイトナーとフリッシが発表した。イタリアのエンリコ・フェルミは夫人がユダヤ人であったためムッソリーニの迫害に先立ち、ノーベル賞受賞のため出国しアメリカに逃れた。そして、ハーンらの論文の出た二ヶ月後に核分裂エネルギー利用の可能性について逸早く米国海軍省の代表に進言している。

中性子により分裂し、爆発的または持続的にエネルギー源として使える（＝燃える）のは極わずか（0.7%）しか存在しないウラン 235 である。この僅かしか無いウラン 235 を濃縮・分離してウラン爆弾を造ろうというのが、米国オークリッジ国立研究所を拠点とする主流派のウラン路線であった。この方式ではウラン 235 の同位体分離が最大の問題であり、極めて大掛かりな電磁同位体分離器の工場が建設されることとなった。

一方、大部分のウラン 238 は、中性子で分裂せずにそれを捕り込んでウラン 239 となり、ネプツニウム 239 を経てプルトニウム 239 に変る。この方式ではウラン 238 の中に生成してくるプルトニウム 239 は、ウランからの化学分離によって得られる。一般に化学分離は同位体分離より格段に容易である。中性子化学についてはイタリアで既に充分基礎的な研究を積んでいたエンリ・フェルミは、同位体分離による主流派たるウラン路線と対立し「そんな僅か 0.7%しか無いウラン 235 など使わずにもっと簡単に原子爆弾を造れる」と豪語し、天然ウラン(99.93%のウラン 238)に中性子を当ててプルトニウム 239 を造り、実際あっという間にプルトニウム爆弾 2 個造ってしまった。ウラン爆弾のほうはその段階で漸く 1 個が完成した。実験はプルトニウム爆弾を用いて行われ、もう 1 個のプルトニウム爆弾が後に長崎の実戦で使われたことはよく知られている。ウラン爆弾のほうは広島で使われた。この経緯の意味するところは、プルトニウム 239 のほうが遥かに生成し易く、後に核武装した国々、特に研究後発国はすべてこの方式を採用してきた。インドやパキスタンもこの方式である。イラクや北朝鮮も同様である。このように中性子の発見は、直ちに多数の元素変換を可能にしたが、同時にそれは大量殺戮兵器として実用化されたのであった。

核融合については、やはり軍事的な理由から瞬間的に大量にエネルギーを得るとい

う方向に進んだ。核分裂では爆弾を開発研究で主導的な役割を果たし、「原爆の父」と呼ばれたオッペンハイマーが熱核融合による水素爆弾の開発には賛成せず、失脚し、テラーに「水爆の父」の名をほしいままにされたことはよく知られている。しかしながら、その真の貢献はテラーではなく比較的に無名の同僚研究者によるものと言われている。オッペンハイマーは、確かにユダヤ系であったが、父の代からの裕福な成功した移民であり、れっきとした米国人である。一方、テラーはナチスの手から逃げのびてきた亡命ユダヤ人であり、毀誉褒貶が相半ばし、賛否両論の格差が甚だしい人物である。オッペンハイマーは後に名誉回復し、日本にも来て筆者も東京大学原子核研究所でその声咳に接したことがある。平和のための、いわゆる制御された核融合の研究が始められたのは 1952 年頃からであった。

5．安定核ビームによる核研究と宇宙における元素合成の理論

1919 年から 1980 年代に至る元素変換はいずれも安定核を用いた変換ということができよう。中性子は安定ではないという反論もあろうが、半減期 10.6 分は、中性子源によろうと加速器によろうと、考えている変換反応のためには充分長寿命であり、安定と見なすことができる。上述の軽い核同士の核融合反応に加えワイスゼッカー（1938）およびベーテ（1939）によってより重い核の陽子取り込みにより恒星のエネルギー源を説明するために次のような一連の核変換群が提唱された。

炭素 12＋陽子＝ｶﾞﾝﾏ線＋窒素 13（ベータ崩壊→）炭素 13
炭素 13＋陽子＝ｶﾞﾝﾏ線＋窒素 14
窒素 14＋陽子＝ｶﾞﾝﾏ線＋酸素 15（ベータ崩壊→）窒素 15
窒素 15＋陽子＝ヘリウム 4＋炭素 12＋25 MeV

この反応は、炭素サイクルまたは炭素 - 窒素サイクルともいわれ、炭素と窒素が触媒にように働き、結果的に 4 個の水素核から 1 個のヘリウム核と 25 MeV のエネルギーになる核融合反応である。ここで → の際にはいずれも陽電子とニュートリノが放出される。これが、いわゆる太陽ニュートリノといわれるニュートリノである。上記の一連の反応における各段階の個々の反応（素反応）は、安定核の標的と安定核ビームを用いた地上の加速器実験で確認されるが、

4×陽子 → ヘリウム＋25 MeV

は地上では観測されない。理論的には恒星という場では起こっているものと考えられる。

上述した二つの核融合の過程は、ガンマ線天文学の発展により、競合して両方とも起こっていると考えられている。

プルトニウム爆弾の最初の実験に立ち会った科学者の一人であるガモフは、その実験による爆発のイメージからビッグバンのヒントを得たと語っている。私見であるが、ここで「ビッグ」は単なる「大」ではなく明らかに「大もとの」という意味であろうからビッグバンは「始原爆発」と標記したい。

6．不安定核ビームによる核研究と地上における元素合成の実験の始まり

我々の核に関する知見は、上述のように 1980 年代までの安定核の標的と安定核のビームによって得られたものであった。しかしながら 1970 年代の前半から米国において事情が少しずつ変り始めていた。しかもそれは、大阪大学からローレンスバークレイ研究所のフェローとして当地の研究に加わった日本の谷畑勇夫博士によるところが大きい。

彼地ではハイラックとベバトロンという二つの加速器を組み合わせたベバラックという複合加速器で、炭素 12～カルシウム 48 のような重イオンを１核子あたり 2.1GeV 程度に加速できるようになった。この加速エネルギーの意味合いは、核子の質量が約 1 GeV なので、エネルギーが質量に匹敵する相対論的エネルギーを充分実現できた、ということである。そして核の新しい状態について知るためにこのようなエネルギーを持った粒子を正面衝突（中心衝突）させるという手法が始められたが、初期における炭素 12 のビーム強度は極めて小さく６秒につき 10 の７乗個程度であった。

同じ頃、バークレーの別のグループが「周辺衝突」と呼ばれる手法により、入射核破砕反応という面白い反応が起こっていることを見出した。それは中心を少し外して核同士を衝突させた時に起こる反応で、入射核と同じ速度で色々な核が生成しているのであった。そしてウエストフォールとサイモンズは、カルシウム 48 のビームを用いた一夜の実験でなんと 16 個の新しい核種を発見することになった。それまで長い間に少しずつ拡大されてきた核図表（横軸に中性子数、縦軸に陽子数をとって核種を図示したもの）が一夜の実験でかくも急激に拡大された時の驚きはバークレーの研究者の間で大変なものであった。

この事実の意味することは、カルシウム 48 という中性子を多く持ち、したがってベータ崩壊する不安定核（半減期＞1.1×10 の 18 乗年）のビームを周辺衝突させる入射核破砕反応は不安定核を生成するのに非常に有効である、ということであった。しかしながら、この時は未だ不安定核（RI）ビームの有用性に本当に気付いた訳ではなかった。

7．RI ビームの発見とその駆使 — きっかけをつくった人々の貢献

1981 年にバークレーで「奇妙な原子核を発見した」という論文が発表された。どのように奇妙かというと、原子核乾板による観測法では入射核破砕片は二度反応を起こす確率が大きく、通常の核より大きく膨張したものであるように見えたのである。この大きく広がった仮想の原子核はアノーマロン（anomaly＝変則）と名づけられ、測定精度を上げるために放射線検出器で電気的に検出する方法が検討された。この時の議論を通して、反応の確率を測定することは、不確定性原理から、不安定核の大きさを測定することであると気が付いた。不安定核の寿命はアノーマロンに比べれば圧倒的に長く、放射線検出器による実験は可能であった。

これが RI ビーム利用の意義の発見であった。谷畑らは以後、原子核の大きさを決定するための方法として RI ビームを用いることになった。前述の**サイモンズ**が巧妙な装置を考案し、それによりアノーマロンは存在しないことが証明された。結果論から言えば、存在しないものが発端となり、核の大きさを知る方法としての RI ビーム

に到達したのである。

RI ビームは、入射核破砕片の種々の不安定核が一方向に集中して放出されるものである。中性子過剰核である酸素 18 の入射核では核子あたり 800 MeV であり、入射核破砕反応で生成したリチウム 11 は全運動量に比較してわずか 1.5%程度広がったビームになっている。

ただ、リチウム 11 だけではなく、多くの他の核が同時に、しかも大体同じ速度のビームとして生成される。そこで特定の不安定核の研究を行うにはその核種を電場や磁場で分離して実験装置に導くことが必要である。軽い核種の測定から始めヘリウム 6、ヘリウム 8、リチウム 11 の核が極めて大きな半径を持つことが示された。これが、やがて中性子ハローや中性子スキンの発見に繋がっていく。

リチウム 11 の発見者であるポスカンサーは、彼の実験ではリチウム 11 は１日に２～３個であったが、谷畑らの実験では６秒に 30 個となり生成量は 100 万倍になった、と評価した。リチウム 11 はその後、加速器と分離器の性能により最近では毎秒１万個に上昇している。1985 年以前の１日数個から 10 年足らずで 10 億倍になっている。これから数年後にはさらにこの１千倍になる筈である。20 年では１兆倍ということになるであろう。大変な強度の発展であるが、この先も同じ速さで発展するには入射核破砕反応ではなく新しい方法が必要と考えられる。

三人目はピュウである。ピュウの慧眼は RI ビームによる方法の発展の可能性をはっきりと読んでいたと思われるが、残念にも彼は早逝してしまった。谷畑らがリチウム 11 について実験精度の向上に努めていた時、デンマークのハンセンとジョンソンは、リチウム 11 について原子核の周りに薄い中性子の雲（中性子ハロー）が取り巻いているという仮説を立てた。この仮説は、リチウム 11 にもう一度破砕反応を起こさせ、生成されるリチウム９の運動量分布の幅から立証された。即ちリチウム 11 の２個の中性子が大きく広がっていることを示したのである。２個以上の中性子を取り出す実験から、リチウム 11 中の２個の中性子だけが通常よりも５倍に広がっていることが示され、空間的には 125 倍に広がった中性子ハローの存在が証明された。

このような核についてその後、ソフトな巨大共鳴という新たな励起モードが予言され、それも実証された。このような発見は、何れも実験の結果を予想してなされたのではなく、実験データの異常を考察して得られた結果である。これは、新しい RI ビームを使ったことで容易く得られた新発見であり、ある段階では、新しい道具を開発し前人未踏の領域に踏み込んでいくことの重要性を示唆するものと考えられる。ここでも新しい思想や考えの枠組みを持つという言わばイデオロギー的要素よりも、新しい道具の導入という技術上の条件のほうが科学を画期的に前進させていることが看取される。

８．宇宙物理学研究の諸発見と宇宙における元素合成の概観

RI ビームが使えるようになった意義は、核物理学の内部における意義だけにとどまらない。1960 年代には宇宙科学の分野において X 線星、中性子星、ブラックホールなどの発見により新しい宇宙像が確立されてきた。これらの諸発見については、これまで地上で実験することなど到底不可能な領域と考えられてきたが、これらの現象の

領域においても、今や地上の加速器の内部で実験の可能性が拓けてきたことは明らかである。原子番号が増大するにつれて核内で陽子に対する中性子の比率は増大する。それらの核を加速して入射核破砕反応により、限りなく中性子物質に近い核を加速器内で創出することは必ずしも不可能ではなくなった。

始原爆発後におけるクォーク→核子→核生成→リチウムまでの軽い元素の合成→核と電子の結合→銀河生成→恒星の進化・水素燃焼・炭素合成・鉄までの元素合成→鉄より重く鉛までの元素の合成→超新星爆発・鉛より重い元素の合成という素描は既に完成しつつあると見てよい。

始原爆発で合成される元素はリチウムまでの軽い元素にとどまり、元素合成の主要な場は恒星である。恒星における元素合成の型はその質量によって決まり、１）太陽の質量の２分の１以下ではヘリウムまでしか合成は進まない。２）太陽の質量の２分の１以上３倍以下ではヘリウムの燃焼が始まり炭素が合成される。太陽はこの型に属する。３）太陽の質量の３倍以上８倍以下ではヘリウムの燃焼が進み、酸素まで合成される。４）太陽の質量の８倍以上では鉄の合成まで進む。鉄は最も安定な原子核であり燃焼はそれ以上起こらず、熱の発生が無く重力で急速に収縮し中心付近で中性子化が始まり、大量のニュートリノに放出により超新星爆発が起こる。鉄より重く鉛までの元素や、鉛以上の重い元素の合成はこの場合にしか起こらない。鉄より重く鉛まで元素は、中性子吸収とそれに続くベータ崩壊によってゆっくりと進行し、遅い過程（S 過程）と呼ばれる。この過程が起こるためには安定な核種が必要であり、鉛以上の重い元素になると、それが無いため鉛でとまってしまう。鉛以上の元素の合成は、中心で重力崩壊が起こり大量の中性子とニュートリノが発生し、ベータ崩壊より速く中性子過剰核が急速に合成される速い過程（R 過程）に拠る。

これらの他にも二三の過程が考えられる。安定同位体で陽子数が比較的多いものがある。このような核がつくられるためには、先ず陽子の過剰な不安定核がつくられ、それが崩壊することが必要である。このような過程は二つの星が連星系を形成している場合、軽いほうの星（水素が主成分）から重いほうの星へ物質が移行して引き起こされる急速な水素燃焼によるものでｒｐ過程と呼ばれている。

これまでの過程では創られない元素にベリリウムとホウ素がある。これらは軽い核であるのに水素やヘリウムに比べて存在量が極めて少ない。これらの核は、RI ビームの創製以後、より重い元素が他の核に衝突して生じる核破砕反応により創られると考えられようになった。

９．エネルギー問題からみた元素合成

近年、国のエネルギー政策と関連して、使用済み核燃料の中間（一時的）貯蔵、外国で再処理され返還されてきた高レベル廃棄物、ウラン‐プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料、寿命のきた原子炉解体物、国際熱核融合実験炉（ITER）誘致などの諸問題が往々否定的な論調で取り上げられることが多いように思われる。これらの問題はいずれも元素の変換または合成に絡んだ問題である。

これまでの日本の原子力政策は、濃縮ウランを核燃料とする原子炉による中性子臨界制御の方式のみに限定されてきた。今日のように加速器が発達してくれば、一次ビ

ームのオン・オフにより中性子発生の制御可能な加速器による未臨界方式の発熱・発電も将来計画または研究課題として考慮にいれるべき時であろう。

核燃料についても、固体の濃縮ウランや混合酸化物ばかりでなく、かなり基礎研究の蓄積もある熔融塩による燃料、トリウム 232 の中性子吸収により得られる消滅核種のネプツニウム 233 など短寿命核種の導入など多彩な研究課題を掲げて有能な若手研究者を魅了するなど積極的な方策を講じることが必要と考えられる。原子炉による閉塞的な状況を打開するには、研究分野でこの分野が本来持つ魅力が発揮されることが先決である。

固体燃料は再処理がなされない限り、核燃料の大部分は未利用資源として残されるが、熔融塩燃料においては少量の核燃料を完全分裂まで徹底的に利用できると共に、核分裂片によるベータ崩壊熱まで部分的に利用可能である。トリウムは資源として我が国にも大量に存在するという点でウランの比ではない。プルトニウム 239 は準国産エネルギーと見なされているが、トリウムは純国産エネルギー資源と言ってよい。この型の核燃料の点火には加速器発生中性子が望ましく未臨界方式で稼動できる。また規模については大規模発電・大量送電ではなく、比較的小規模発電による小型分散型で、かつ電力と熱の併用利用が可能になる。これによりガンマ線の防護も容易くなる。

この方式による加速器が稼動すれば、従来の方式による使用済み核燃料済み核燃料もまたそのまま核燃料として少量ずつ消費していくことが可能になる。核分裂片の短寿命化と減量化は燃焼量の少量化に応じて自ずと実現されるであろうが、さらなる短寿命化・減量化を大きな課題として意識的に掲げ、例えば、入射核破砕反応や陽子放射化などの断面積の系統的な測定など基礎研究の充実が期待される。

国際熱核融合実験炉については、中国、米国の復帰により、情勢が良い方向に流動的になったと見てよいであろう。

参考文献について

本稿は元素合成に関する概観的な素描にとどまり、細かい文献的詳細の記載は徹底できなかった。基本的な参考文献としては、谷畑勇夫著『宇宙核物理学入門』― 元素に刻まれたビッグバンの証拠 ―、講談社ブルーバックス B-1378、2002 年 8 月 20 日、ならびに同著者による東京電力広報誌『ILLUME』、理化学研究所ニュースの関連号の記事を参考にした。また、エネルギー問題との関連については、古川和男著『「原発」革命』、文春新書や、関連する 1960 年代の原著論文が参考になった。

元素名、反応式の日本語表示について

本稿は文系教員の方々はじめ一般市民の読者が予想されますので、記号の使用を敢えて避け可能な限り日本語表示で統一することに致しました。多くの専門家の方々にはただ煩わしいだけかも知れませんが、一般市民読者に免じてご了承いただけますようお願い申し上げます。

(2003 年　3 月　10 日受理)

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p. 31−38 (2002)

年代時計としての放射性同位元素

大橋 國雄
NPO 法人放射線教育フォーラム
（〒100-0013 東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館 B1F）

はじめに

宇宙，太陽，地球などの始まりについては 20 世紀も 30 年代の頃から研究が進み，特に近年ではいろいろなメディアを通じて一般の間でも興味が示されるようになってきた。宇宙は，年代については不確かさがあるものの約 150 億年前のビッグバンによる急膨張によって始まり，このまま膨張を続けるのか，いつかの時点で再び収縮に転じるのか不明とされてきたが，つい最近，NASAの発表として，宇宙の年齢は 138 億歳，永遠に膨張を続けると報じられた。地球の誕生から成り立ちについても大筋は明らかにされてきたようである。恒星の中で，また超新星の爆発の際の巨大なエネルギーのもとで元素合成が進み，宇宙空間に物質の微粒子として放出されたものが原始太陽の周辺で次第に合体してやがて無数の微惑星に成長し，その微惑星の衝突合体により地球が誕生したといわれている。このように過去の事象を考える場合には，それが生起した年代を推定し，年代を追ってそれらの事象の進化の過程を明らかにすることが重要である。太陽系生成説に依れば，太陽は今から約 50 億年前に，地球は太陽の周りに太陽系惑星群が形成される過程の中でおよそ 46 億年前に誕生した。地球のこの年代を推定する鍵は，地球が形成された時代に地球形成の母体となった微惑星と同じ起源を持つ小惑星群からの隕石や隕鉄にある。また,微惑星の衝突が激しかった成長期の地球の溶融した状態からやがて激しい衝突も収まり冷却して海ができ，溶岩が固化して生成した最古の岩石の年代を知ることは,岩石しか手がかりのない頃の地球史の年代を考える上で興味深い。時代は遥かに下って文明の発祥の頃まだ文字による記録の残されない時代の年代の推定も考古学では欠くことはできないであろう。しかし、ある事象についての年代測定の意味については，それぞれの分野の専門的な知識を必要とすることは言うまでもない。

天然に存在する放射性同位元素を利用した年代測定法は，1904 年にラザフォード(E.Rutherford, 1871-1937)がウランが壊変したときに生成するヘリウムの量を測定することにより岩石などの固化年代を推定する方法を提案したことに始まる。 その後放射性壊変に関する知識の増大や測定器の格段の進歩により，この年代測定法は岩石や考古学試料などの絶対年代測定法として，即ちどちらの地層がより古いかというような相対年代ではなく，年代を数値として表す方法として今日有効に利用されている。この方法によって隕石，アポロ 11 号が月から持ち帰った岩石，地球の太古の鉱物などの年代が測定され地球誕生の頃の歴史が明らかにされてきた。この解説では，天然に存在する放射性同位元素を利用して絶対年代を測定する方法の原理について紹介する。初めに基礎的な事柄について簡単に振り返った後，それを二三の例に基づいて見ていこうと思う。

放射能の発見，放射性壊変と半減期

1895 年にレントゲン(K.W.Roentgen, 1845-1923)が黒い紙や厚い本などいろいろな物体に

対して強い透過性をもつ X 線を発見したその翌年，当時リン光物質や蛍光物質の研究をしていたベクレル(A.H.Becquerel, 1852-1908)は，ウランとカリウムの硫酸複塩からも黒い紙を透過し，写真乾板を黒化するする放射線が放出されることを発見した。ベクレルは，この放射線の発生はウラン塩を日光に曝すこととも，蛍光とも関係なくウラン固有の性質によるものであると結論した。ラザフォードは，ソディ(F.Soddy, 1877-1956)と共同で 1903 年の初めにこの現象は原子内の変化であって，自発的に起こるという考えを発表した。原子核 [1]という考え方がまだ現れなかった時代のことである。放射線には磁場の中での振る舞いによって 3 種類のものがあることも知られ，このことは 1904 年のマリー・キュリー(M. Curie, 1867-1934)の学位論文でも紹介されている。α 線は正電荷をもち重く，β 線は負の電荷を持つ軽い粒子である。γ 線は X 線と同様磁場によって曲げられない。今日われわれは，α 線は原子核から放出される高速のヘリウム原子核，β 線 [2]は原子核の変換に伴って放出される高速電子であり，γ 線は原子核の励起状態からより低い励起状態あるいは基底状態への遷移に伴って放出される電磁波であることを知っている。現在ではこの変換現象は，ある原子核(親の原子核)が自発的に別な原子核(娘の原子核)に変換し，そのとき放射線を放出する原子核現象であり，放射性壊変と呼ばれる。原子核が壊変する性質を放射能と呼び，このとき親の原子核は放射能をもつと言う。放射能とはキュリーの命名である。原子核の壊変様式には，α 壊変，β 壊変，γ 壊変の他自発核分裂や遅延中性子放出などがあり，β 壊変には詳しくは β^-，β^+ [2]及びEC壊変(electron capture,軌道電子捕獲とも言う：記号は EC)の 3 種類がある。EC壊変では原子核がその軌道電子 1 個を捕獲し，原子番号が一つ小さい原子に変わる。上に述べた壊変の様式について表 1 にまとめておいた。第 3 欄には壊変に伴う質量数及び原子番号の変化，すなわち娘核種の質量数 [3]及び原子番号を示した。

表1　放射性壊変の様式

壊　変	機　作	娘核種 親核種(A, Z)	一次放出粒子
α 壊変	α 線放出	A-4, Z-2	α
β 壊変	β^-線放出	A, Z+1	β^-, ν
	β^+線放出	A, Z-1	β^+, ν
	電子捕獲	A, Z-1	ν
γ 壊変	γ 線放出	A, Z	γ

A：質量数＝陽子数＋中性子数，　Z＝原子番号，ν，ν はそれぞれニュートリノ

放射性核種の放射能は，核種の種類によって時間の経過とともに減少することが知られていたが，ラザフォードはこれが指数関数的な減少であることを実験的に見出した。

$$N=N_0e^{-\lambda t} \qquad (1)$$

N_0 は t=0 の時の原子核数であり，N は t 時間後に存在する原子核の数である。λ は特定の原子核に固有な定数であって，単位時間当たりに原子核が壊変する確率 [4]を表す。上の式から，

$$-dN/dt = \lambda N_0e^{-\lambda t}$$
$$= \lambda N \qquad (2)$$

-dN/dt は単位時間当たりの原子核の壊変数，すなわち壊変速度であり，その時点で存在する原子核数に比例する。従って、λN は放射能の強さを表す。単に放射能ともいう。放射能という語は，上に述べたように性質を意味するばかりでなくその大きさを表す語としても使われる。ある時刻から数えて最初の放射能が半減するまでに要する時間を半減期といい，$t_{1/2}$ とすると

$$\tfrac{1}{2}N_0 = N_0e^{-\lambda t_{1/2}}$$
$$t_{1/2}=\ln 2/\lambda, \quad t_{1/2}=0.693/\lambda \qquad (3)$$

となる。半減期を経過する毎に，放射能は 1/2，$(1/2)^2=1/4$，$(1/2)^3=1/8$，・・・・・・と減少する。平均寿命 τ は，

$$\tau = (1/N_0)\int_0^\infty t\,\lambda N_0 e^{-\lambda t}dt = 1/\lambda = 1.44\ t_{1/2} \quad (4)$$

である。放射性核種の寿命の長さを表す概念としては平均寿命より半減期がよく用いられる。

1） 原子核は陽子と中性子とからなる。同じ原子番号，すなわち陽子数を持つ原子の種類を元素という。一つの元素の中にも，異なった原子核を持つもの，すなわち中性子数の違う原子がある。これらを互いにその元素の同位体，同位元素あるいはアイソトープと呼ぶ。例えば，水素には通常水素と呼ぶ陽子のみから成る原子核を持つもの，それと中性子 1 個をもつ重水素，中性子 2 個を持つトリチウムの 3 種類の同位元素が存在する。これらは原子という観点からは同種であるが，原子核はそれぞれ異なり，原子核反応など原子核が関与する現象では異なった種類のものとして振舞う。したがって，原子核現象を扱うときには，陽子及び中性子数の組み合わせによって決まる核種という語を使うほうが理解しやすい。表題ではそれと同じような意味で広く一般に使われている同位元素を用いた。 核種の記号は，Aを質量数，Zを原子番号，Xを元素記号として，^A_ZXと表す。

2） 正確にはβ^-，すなわち高速の陰電子=電子である。陰電子とは電荷の符号のみが違う陽電子(β^+)，陽電子が放出される陽電子壊変もある。

3） 陽子数＋中性数

4） 原子核の壊変過程は，確率的現象である。放射性のある原子が，時間間隔Δt の間に壊変する確率 p は，放射能を持つその原子の過去の経歴にも，置かれている環境にも無関係に，ただΔt だけに関係し，十分短い時間では，$p=\lambda\Delta t$ と考えて式(1)を導くことができる。

自然の中の放射性核種

地球の自然の中には，地表にも，地中は中心核まで，水圏や大気圏にもいたるところに放射性核種は存在する。これを天然の放射性核種という。天然の放射性核種には，地球ができたときから存在する 5～10×10^9 年の長い半減期を持つ一次放射性核種とこれらの核種の壊変生成物としての放射性核種並びに宇宙線の作用により絶えず生成している ^{14}C や ^{3}H などがある。一次放射性核種には，放射壊変系列[1] を構成する ^{238}U，^{235}U と ^{232}Th の 3 種類が知られており（図 1，文末），系列を構成しないものには ^{40}K など十数種類のものが知られている（表 2）。これらより半減期の短いものは地球が生成したときにはたとえ存

表2　年代測定に利用される壊変系列を構成しない天然一次放射性核種

核 種	同位体存在比(%)	半減期(年)	壊 変 様 式	年代測定に利用する親–娘核種の関係
^{40}K	0.0117	1.277×10^{9}	β^-(89.3%),EC(10.70%)	^{40}K–^{40}Ar
^{87}Rb	27.83	4.75×10^{10}	β^-	^{87}Rb–^{87}Sr
^{138}La	0.090	1.05×10^{11}	β^-,EC	^{138}La–^{138}Ce
^{147}Sm	14.99	1.06×10^{11}	α	^{147}Sm–^{143}Nd
^{176}Lu	2.59	3.78×10^{10}	β^-	^{176}Lu– ^{176}Hf
^{187}Re	62.60	4.35×10^{10}	β^-	^{187}Re–^{187}Os

外に^{113}Cd,^{115}In,^{123}Te,^{144}Nd,^{148}Sm ,^{113}Cd,^{174}Hf,^{186}Os,^{190}Ptがある。半減期は，いずれも10^{10}～10^{15}年と長い。

在していたとしても現在では検出できないまでに減少し事実上消滅してしまったと考えられる[1]。^{238}U，^{235}U 及び ^{232}Th のα壊変によって生成する娘核種はいずれも放射性で，それ以後α及びβ^-壊変を繰り返して壊変系列を構成し，最後にはいずれも鉛の安定同位体となって系列を閉じる。人工の放射性核種が登場したのは 1934 年のことで，イレーヌ・キュリー(I .Curie, 1897-1956)と夫のフレデリック・ジョリオ（F. Joliot, 1900-1958）が協力し，ポロニウムの壊変で放射されるα粒子による$^{27}Al(\alpha,n)^{30}P$[2]反応によりポジトロンを放出して ^{30}Si に壊変する ^{30}P（半減期：2.498m）を報告したのが始めてである（n は中性子）。

^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th や ^{40}K などの放射性核種は，「はじめに」のところで述べたように，恒星すなわち第一世代の星（太陽の一世代前の星）の中で，また超新星の爆発過程における元素合成によってつくられ，地球形成の母体となった微惑星の中に，すなわち地球誕生のときに存在したものである。^{14}C は宇宙線によって生成される中性子と ^{14}N との $^{14}N(n, p)^{14}C$ 反応によって大気の上層でつくられ，大気中の二酸化炭素に取り込まれて大気中にほぼ均一の濃度で存在する。一方，生成した ^{14}C は半減期5730年で壊変して減少する。

1) ^{238}U, ^{235}U 及び ^{232}Th で始まる系列をそれぞれウラン系列，アクチニウム系列，トリウム系列という。各系列に属する核種の質量数(A)には，一定の規則性があり，nを整数としてウラン系列ではA＝4n＋2，アクチニウム系列では 4n＋3，トリウム系列では4nである。天然には見つからないが，人工の放射性核種 ^{237}Npで始まる壊変系列が 4n＋1 の系列に当る。この壊変系列は安定同位体の ^{209}Biで系列を閉じる。半減期は ^{238}U, ^{235}U 及び ^{232}Th よりずっと短く2.14×10^6 年である。地球誕生とともに存在していたとしても，現在では消滅核種である。missing seriesという。

2) 核反応， $^{27}Al + {}^{4}He = {}^{30}P + {}^{1}n$ の短縮形

年代測定

放射性核種は，すでに示したように式(1)

$$N_p = N_i e^{-\lambda t} \qquad (1)$$

に従って，時間の経過とともに減少する。ただし、ここでは，N_pは放射性核種の現在の量であり，N_i は t=0 の値である。これから，

$$N_i = N_p e^{\lambda t}$$

である。λ は外部条件，すなわち温度や圧力に依存しない。生成以来外部と物質の出入りがない閉鎖的な試料では，t＝0 において存在した親核種が壊変のみによって減少し，娘核種が失われることなく蓄積される。このような系では，放射性核種は理想的な年代時計となる。今ここで、t＝0 における娘核種の量をD_0，現在までに壊変によって生成した娘核種の量をD^*，現在の娘核種の総量をDとすると，

$$D = D_0 + D^*$$

$$D = D_0 + N_i - N_p \quad と \quad N_i = N_p e^{\lambda t}$$

とから，

$$D = D_0 + N_p (e^{\lambda t} - 1) \qquad (6)$$

ここで何らかの方法でD_0を知ることができればDとN_pは現在の量であるからtを推定することは可能である。しかし，測定には質量分析計などが用いられるので，単独に D，N_pの量を測定するより共存する娘核種の安定同位体，D_s の比として測定するほうが精度がよい。閉鎖系においては安定同位体の量は変化しないから，

$$D_0 / D_s = (D / D_s)_0,$$

従って (6) は，

$$D / D_s = (D / D_s)_0 + (N_p / D_s)(e^{\lambda t} - 1) \qquad (7)$$

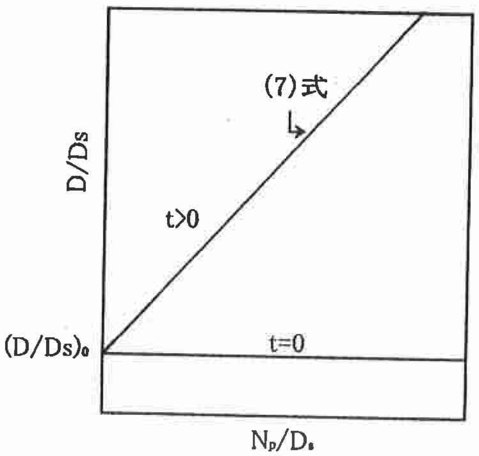


図2 式(7)によるアイソクロンの模型図

D/D_s と N_p/D_sは現在の値であって測定可能である。同じ$(D/D_s)_0$ と t をもつ 2 種以上の

異なる試料からの D/D_s比をその N_p/D_s比に対してプロットすると，それは直線となり，その直線の切片から$(D/D_s)_0$を，勾配から t を求めることができる。この関係を利用した年代測定法をアイソクロン（isochrone，等時線）法という(図 2)。実際の試料の分析に当たって，求めた年代値が意味を持つためには，その時々に満たすべき条件はあるが以下原理について述べることとする。

1） K－Ar（カリウム－アルゴン）法

^{40}Kは 12.77 億年の半減期をもち地殻に広く分布する天然の放射性核種で，EC 壊変(10.7%)によって^{40}Arに，β^-壊変(89.3%)によって^{40}Caに壊変する[1)]（図 3）。例えば岩石の生成年代を考えるときに，溶岩が固化したときが岩石の生成時期とするとそれ以前に生じた^{40}Ar[2)]は大気中に散逸するが，それから現在までに生成した^{40}Ar は岩石中に蓄積される。現在の岩石中の^{40}K 及び^{40}Ar原子数は測定可能であるから，それぞれの現在の原子数を$^{40}K^*$ 及び$^{40}Ar^*$とすると，岩石が生成したときの^{40}Kの原子数は$^{40}K^*e^{\lambda t}$，λは^{40}Kの壊変定数である。壊変によって t 年の間に生成した娘核種の原子数は，この値と現在の^{40}K の原子数との差となる[3)]。λ_{EC}を ^{40}Ar への部分壊変定数とすると，^{40}Ar の原子数は，

$$^{40}Ar^* = (\lambda_{EC}/\lambda)\ ^{40}K^*(e^{\lambda t}-1) \tag{8}$$

となる。これから t を計算すると，

$$t = (1/\lambda)\ln\{1+(\lambda/\lambda_{EC})(^{40}Ar^*/^{40}K^*)\} \tag{9}$$

である。^{40}Kの ^{40}Caへの部分壊変定数を$\lambda_{\beta-}$とすると，

$$\lambda = \lambda_{EC} + \lambda_{\beta-},$$

$$\lambda_{EC} = 5.81\times10^{-11}\ y^{-1},$$

$$\lambda_{\beta-} = 4.85\times10^{-10}\ y^{-1}$$

である。岩石や鉱物にこの方法が適用できる試料が多い。

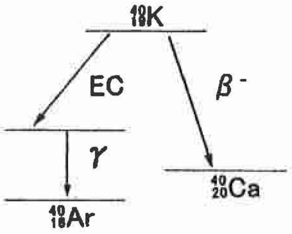


図 3　^{40}Kの壊変図式

1）　放射性核種が 2 種類の放射壊変を並行して行い，異なる娘核種を生成する壊変様式を分岐壊変という。親核種をA，娘核種をB，Cとすると，Aの壊変速度は，

$$-dN_A/dt = (\lambda_B+\lambda_C)N_A, \quad 半減期\ t_{1/2}=0.693/(\lambda_B+\lambda_C)。$$

2）アルゴンは不活性気体である。

3）式(6)において娘核種の初生値 $D_0=0$ に相当する。

2） Rb－Sr（ルビジウム－ストロンチウム）法

ルビジウムの天然の同位体は放射性同位体の^{87}Rb（半減期：4.75x10^{10}年，同位体存在比：27.83%）と安定同位体の^{85}Rb（同位体存在比：72.17%）である。^{87}Rbは壊変してストロンチウムの安定同位体 ^{87}Srになる。^{87}Rbを含むマグマが固化して岩石が生成し，それから現在まで t年を経過したとすると，現在までに壊変によって生成した ^{87}Sr の原子数は，$^{87}Rb(e^{\lambda_{Rb}t}-1)$であり（cf.(6)式），これに t=0 において存在した^{87}Srの原子数を加えたものが現在の ^{87}Srの総量となる。しかし，^{87}Srの t=0 における量は不明であるから，式(7)の関係を用い，ストロンチウムの安定同位体^{86}Srに基準化して，

$$^{87}Sr/^{86}Sr = (^{87}Sr/^{86}Sr)_0 + (^{87}Rb/^{86}Sr)(e^{\lambda_{Rb}t}-1) \tag{10}$$

とする。$^{87}Sr/^{86}Sr$と$^{87}Rb/^{86}Sr$は現在の存在比であるから，実測可能な値であり，これらを縦軸，横軸としてプロットすると，同じ $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ と年代 t を持つ試料では，勾配$(e^{\lambda t}-1)$と切片$(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ をもつ直線関係がえられる。直線の勾配$(e^{\lambda t}-1)$から岩石が生成した時代を求めることができる。アイソクロン法を利用した年代測定である。^{87}Rb は半減期がおよそ 480 億年と長いので隕石や太古の時代の岩石や鉱物の年代測定法として広く適用が可能である。

3) U, Th－Pb(ウラン, トリウム－鉛)系による年代測定

^{238}U, ^{235}U 及び ^{232}Th は文末の図 1 に示したような壊変系列をつくる。娘核種はいずれも親核種よりはるかに短い半減期を持ち，親核種の壊変速度で壊変してそれぞれ鉛の安定同位体^{206}Pb, ^{207}Pb 及び ^{208}Pb になるので，この系列の親核種と最終生成物の鉛の同位体を利用して，ルビジウムの場合と同様に鉱物の年代を測定することができる。

^{206}Pb, ^{207}Pb 及び^{208}Pb は放射壊変によって生成する鉛の安定同位体である。これに対して壊変によっては生成しない安定同位体の ^{204}Pb を基準に取ると，

$$^{206}Pb/^{204}Pb = (^{206}Pb/^{204}Pb)_0 + (^{238}U/^{204}Pb)(e^{\lambda_8 t} - 1) \quad (11)$$

$$^{207}Pb/^{204}Pb = (^{207}U/^{204}Pb)_0 + (^{235}U/^{204}Pb)(e^{\lambda_5 t} - 1) \quad (12)$$

$$^{208}Pb/^{204}Pb = (^{208}Pb/^{204}Pb)_0 + (^{232}Th/^{204}Pb)(e^{\lambda_2 t} - 1) \quad (13)$$

が得られる。Rb－Sr 法と同様な関係から，これらの式を用いてアイソクロンから年代 t を求めることができる。式(11) と (12)の比をとると，

$$[(^{206}Pb/^{204}Pb) - (^{206}Pb/^{204}Pb)_0] / [(^{207}Pb/^{204}Pb) - (^{207}Pb/^{204}Pb)_0] \quad (14)$$

$$= (1/137.88)[(e^{\lambda_8 t} - 1) / (e^{\lambda_5 t} - 1)]$$

ここで，1／137.88 は現在の(^{238}U／^{235}U)である。同じ年代の試料に対して右辺は一定であるから，それらの試料が t=0 で同じ(^{206}Pb／^{204}Pb)$_0$ 及び(^{207}U／^{204}Pb)$_0$をもつならば、^{206}Pb／^{204}Pb と ^{207}Pb／^{204}Pb の関係は直線になる。(14)による年代測定法を Pb-Pb 法という。この方法では，現在の鉛の安定同位体比だけで年代を求めることができる。

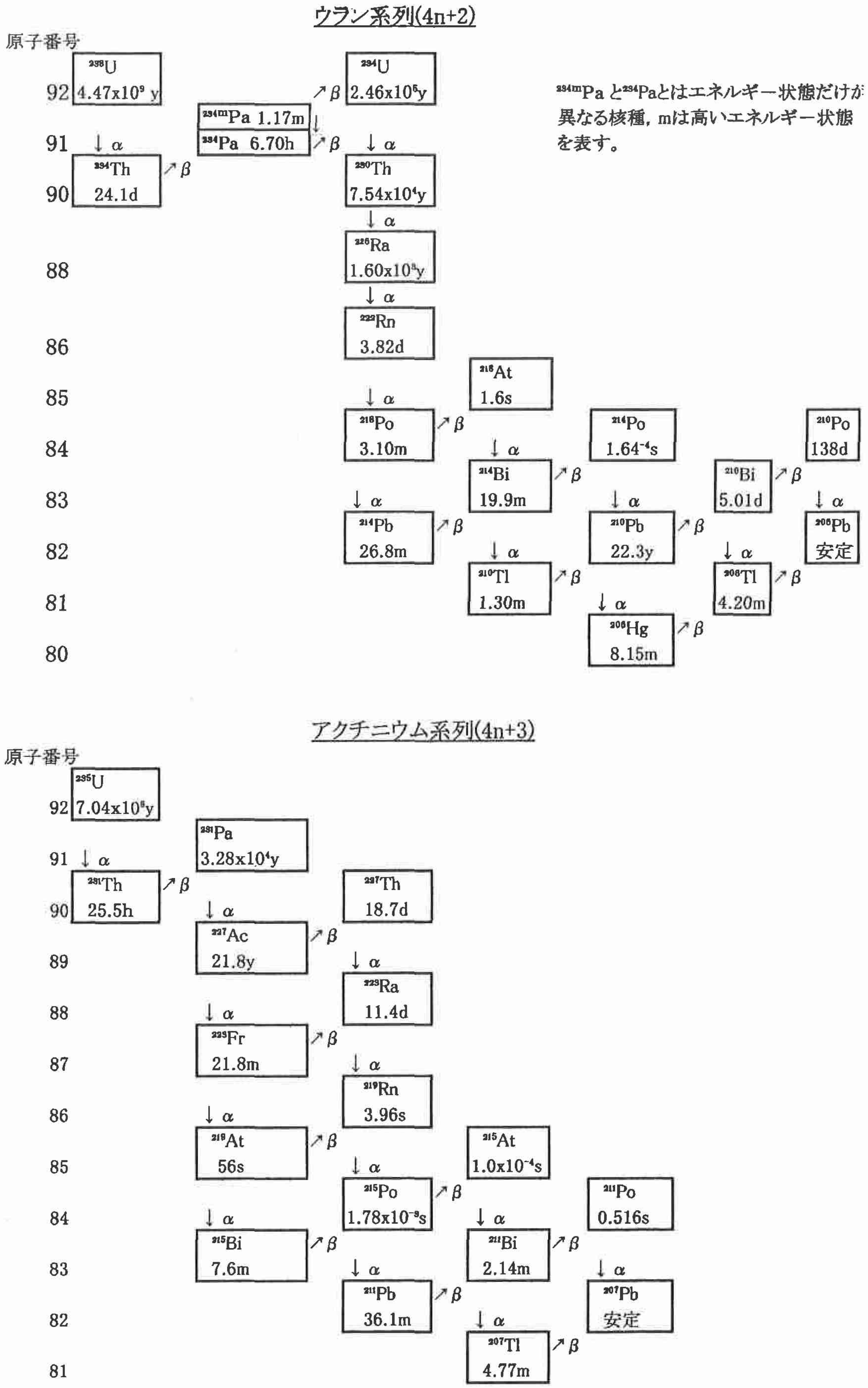
4) ^{14}C(炭素)法

^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th(半減期はそれぞれ，4.47×10^9, 7.04×10^8, 1.41×10^{10} 年)は上述のように地球の年齢に前後する半減期を持ち，岩石の固化年代の決定に利用されることを見てきた。^{14}C は β^-壊変をおこない，半減期は 5730 年である。考古学的試料や地質学的試料の年代測定に適用可能である。^{14}C は，大気中，高空で宇宙線の中の中性子と窒素原子核との核反応 1)で絶えず生成し，生成した^{14}C は二酸化炭素の中に取り込まれ地球環境中の物質循環によって水圏，動植物圏に広くほぼ均一に分布する。植物は炭酸同化作用によって大気中から二酸化炭素を体内に取り込み，それを食物として動物は ^{14}C を摂取する。動植物が死ぬと，環境からの ^{14}C の摂取はなくなり動植物体中の組織の ^{14}Cの放射能は減少し続ける。^{14}C の環境中の放射能は，この年代測定の適用年代では一定であると仮定されているが，過去に変動が知られており，年代既知の試料によって補正がなされる。測定試料は化学操作等によって放射能の測定し易い化合物，CO_2, ベンゼン等に変えられ測定される。環境中の^{14}C の比放射能は炭素 1g 当たり毎分約 15 壊変である。半減期を経過すると 7.5 壊変に，さらに半減期を経るとその 1/2 に減少する。計数値が低いので試料の長時間の測定が必要である。近年までは，この小さな放射能の測定値に頼っていたが，質量分析計と小型加速器を組み合わせた加速器分析法が 1980 年代から実用になり，測定に要する時間がはるかに短縮されるとともに極めて微量な試料で測定できるようになった。炭素 1g 中には約 650 億個の ^{14}C 原子 2)がある。この方法では，6 万年程度以前までの試料について年代測定が可能になった。

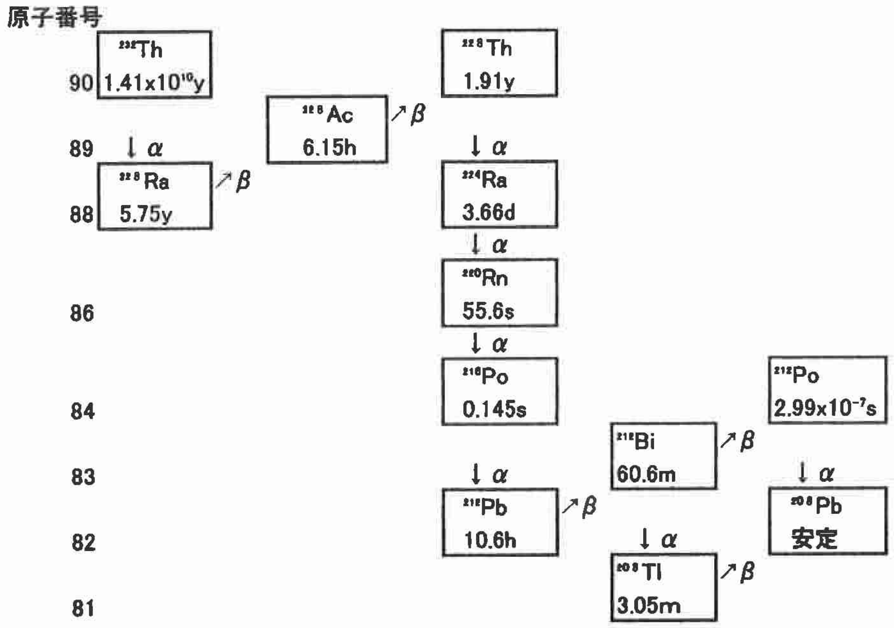
1) $^{14}N(n,p)^{14}C$,

2) $-dN/dt = \lambda N$, $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$, 試料 1g に付き毎分 15 壊変とすると，$t_{1/2}$=5730 年，ln2=0.693, 従って，
$15 = 0.693N/(5730\times365\times24\times60)$, $N = 6.51\times10^{10}$ 個

図１　系列をつくる天然放射性核種



トリウム系列(4n)



おわりに

これまで天然の放射性核種を利用した年代測定法の原理について見てきました。地球と隕石は，原始太陽星雲の中から同じ起源をもって生まれてきました。「はじめに」のところでも述べましたが地球の年齢の推定には，隕石の研究に負うところが多く，隕石の鉱物年代に対しては，カリウムーアルゴン法，ルビジウムーストロンチウム法，ウランー鉛法のいずれによっても 45.5 億年前後の数値が与えられています。20 世紀初頭には地球の年齢は 1～2 億年と考えられていたそうですから今昔の感があります。炭素法によってわが国の多くの遺跡の年代が推定されてきました。一つの例は，静岡市南部の弥生式時代の登呂遺跡の年代です。材木の測定から BP2,060±90 年 [1]と与えられました。

人は，いずれにしても自分を尺度としてものを考えがちですが，時間の長さについても一度地球や宇宙の年代に尺度を移して考えてみたらいかがでしょうか。科学上の発見によってものを見る目が変わるかもしれません。

1)　BP； 放射性炭素年代の表記法，1950 年の年代値を基準にしてそれより何年前という数え方（before present）

参考文献

1)　神奈川県立博物館編：新しい地球史 46 億年の謎（有隣堂，1999）
2)　松井孝典：地球・宇宙・そして人間　人間は宇宙の中心か（徳間書店，2000）
3)　兼岡一郎：年代測定概論（東大出版会，2002）
4)　富永　健，佐野博敏：放射化学概論［第 2 版］（東大出版会，1999）
5)　木越邦彦：放射化学概説（培風館，1970）
6)　I.G.Draganic 他共著，松浦辰男他共訳：放射線と放射能　宇宙・地球環境におけるその存在と働き（学会出版センター，1996）
7)　中西　孝：放射線教育，Vol.5，No.1, 81-86（2001）
8)　井尻正二，端山好和：地球の起源と歴史[第 2 版]（ 法政大学出版局，1993）
9)　大久保雅弘，藤田至則編著：地学ハンドブック[第 6 版]（築地書館，1999）

（2003 年　3 月　16 日受理）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p.39−48 (2002)

「放射線」関連用語アンケートの集計結果

堀内公子
大妻女子大学　社会情報学部
（〒206-8540　多摩市唐木田 2-7-1）

1. はじめに

2000 年の春，日本化学会が行った大学新入生対象の「環境用語（60 語）」に関するアンケート調査に興味を持ち，その中に含まれている「放射線」関連の用語（7 語）を抜き出してその集計結果をまとめてみた．

2. アンケート

① 調査対象：大学生は学部学生一年生およびその他任意グループ

② 調査期間：4〜6 月（大学学部一年生のみ入学時の知識の調査），その他は任意の時期

③ 回答方式：自分の知っている程度によって A（知っている），B（少しは知っている），C（言葉を聞いた事がある），D（知らない）のいずれかを記入するものとした．

④ アンケート集計結果：大学生は全体で 13,917 人（141 学部）にのぼり，専攻ごとの内訳とその他の任意グループの人数を表 1 に示した．また各用語の全体の集計結果を％単位で表 2 に示した．同時に結果を見やすくするために，A を 3 点，B を 2 点，C を 1 点，D を 0 点とし目安値：(Ax3+Bx2+C)/100 も示した．従って目安値が 1.5 以上であれば知っている方が多いということになる．

3. 調査グループ及び人数

表 1　調査グループ及び人数

	調査グループ	人数
1	大学生全体	13,917
	内訳：化学系学科	5,638
	環境を冠とする学科	620
	上記以外の理系	4,406
	教育系	388
	文系	2,865
2	T 工業大学	1,300
3	化学クラブ研究発表会（中学生から大人まで）	104
4	X 大学大学院生	187
5	化学教育講習会（20 代から 60 代まで）	57
6	Z 都立高校同窓会	53
7	A 高校（終了・女子）	126
8	B 高校（共学 2，3 年）	104
9	C 高校	309

4. 選択された「放射線」関連用語

原子炉，臨界，ラジオアイソトープ，半減期，放射線，チェルノブイリ事故，スリーマイルズ島事故

5. 集計結果

各用語の集計結果と目安値を表２に示した．

表２　集計結果及び目安値

項目	専攻	人数	A%	B%	C%	D%	目安値
原子炉	大学生全体	13,917	51.9	31	15.3	1.8	2.3
	化学系学科	5,638	54.3	30.6	14.1	1	2.4
	環境を冠とする学科	620	52.6	32.4	13.8	1.2	2.2
	上記以外の理系	4,406	53.2	32.2	13	1.6	2.4
	教育系	388	45.2	35	20.4	21	2.3
	文系	2,865	45.9	29.6	20.9	3.6	2.2
	T工業大学	1,300	55.6	34.6	9.1	0.7	2.5
	化学クラブ研究発表会	104	58.7	29.8	7.7	3.9	2.4
	X大学大学院生	187	54	29.4	11.8	4.8	2.3
	化学教育講習会	57	68.4	29.8	0	1.8	2.6
	Z都立高校同窓会	53	71.7	24.5	1.9	1.9	2.7
	A高校(終了・女子)	126	25.4	23.8	30.2	20.6	1.5
	B高校(共学)	104	38.4	41.1	17.8	2.7	2.2
	C高校	309	44	39.4	15	1.6	2.3
	平　均						2.32
臨界	大学生全体	13,917	37.8	32	25.7	4.5	2
	化学系学科	5,638	40.1	32.8	23.5	3.6	2.1
	環境を冠とする学科	620	32.8	33.8	29.4	4	1.8
	上記以外の理系	4,406	41.1	32.8	22.7	3.4	2.1
	教育系	388	30	34.4	30.8	4.8	1.9
	文系	2,865	30	28.7	33.5	7.8	1.8
	T工業大学	1,300	46.6	34.9	16.6	1.9	2.3
	化学クラブ研究発表会	104	50	32.7	12.5	4.81	2.3
	X大学大学院生	187	57.8	31.6	10.7	0	2.5
	化学教育講習会	57	66.7	29.8	1.8	1.8	2.6
	Z都立高校同窓会	53	71.7	22.6	3.8	1.9	2.6
	A高校(終了・女子)	126	10.3	14.3	34.9	40.5	0.9
	B高校(共学)	104	23.3	37	27.4	12.3	1.7
	C高校	309	25.7	32.9	27.7	13.7	1.7
	平　均						2.04
ﾗｼﾞｵｱｲｿﾄｰﾌﾟ	大学生全体	13,917	37.8	32	25.7	4.5	2
	化学系学科	5,638	40.1	32.8	23.5	3.6	2.1
	環境を冠とする学科	620	32.8	33.8	29.4	4	1.7
	上記以外の理系	4,406	41.1	32.8	22.7	3.4	2.1
	教育系	388	30	34.4	30.8	4.8	1.9
	文系	2,865	30	28.7	33.5	7.8	1.8
	T工業大学	1,300	46.6	34.9	16.6	1.9	2.3

	化学クラブ研究発表会	104	50	32.7	12.5	4.8	2.3
	X 大学大学院生	187	57.8	31.6	10.7	0	2.5
	化学教育講習会	57	66.7	29.8	1.8	1.8	2.6
	Z 都立高校同窓会	53	71.7	22.6	3.8	1.9	2.6
	A 高校(終了・女子)	126	0	3.2	19.1	77.8	0.3
	B 高校(共学)	104	23.3	37	27.4	12.3	1.7
	C 高校	309	25.7	32.9	27.7	13.7	1.7
	平　均						1.997
半　減　期	大学生全体	13,917	40.6	18.6	14.8	26.1	2
	化学系学科	5,638	51	21.9	13.5	13.5	1.7
	環境を冠とする学科	494	29.8	22.3	19.8	28.1	1.8
	上記以外の理系	4,406	48.9	21.1	13.7	16.3	2
	教育系	388	26.5	16.8	20.9	35.7	1.3
	文系	2,865	11.2	7.9	17	63.8	0.7
	T 工業大学	1,300	75.8	21.2	2.7	0.3	2.7
	化学クラブ研究発表会	104	43.3	14.4	13.5	28.9	1.7
	X 大学大学院生	187	41.2	33.7	14.4	10.7	2.1
	化学教育講習会	57	82.5	14	1.8	1.8	2.8
	Z 都立高校同窓会	53	45.3	22.6	9.4	22.6	1.9
	A 高校(終了・女子)	126	6.4	2.4	19.9	71.4	0.4
	B 高校(共学)	104	6.8	13.7	16.4	63	0.9
	C 高校	309	24	15.5	17.1	43.4	1.2
	平　均						1.65
放　射　線	大学生全体	13,917	54.6	34.3	10.2	0.9	1.9
	化学系学科	5,638	56.4	34.2	8.8	0.6	2.1
	環境を冠とする学科	620	45.3	41.8	12	0.8	1.9
	上記以外の理系	4,406	57.1	34.1	7.9	0.9	2.1
	教育系	388	48.3	39.2	12.3	0.3	1.7
	文系	2,865	49.5	32.7	16.2	1.6	1.5
	T 工業大学	1,300	66.9	28.7	4.2	0.2	2.6
	化学クラブ研究発表会	104	66.4	18.3	10.6	4.8	2.5
	X 大学大学院生	187	52.4	37.4	10.2	0	2.4
	化学教育講習会	57	75.4	19.3	1.8	3.5	2.7
	Z 都立高校同窓会	53	64.2	28.3	3.8	3.8	2.5
	A 高校(終了・女子)	126	46	38.1	15.9	0	2.3
	B 高校(共学)	104	37	41.1	21.9	0	2.2
	C 高校	309	50.8	41.3	7.3	0.7	2.4
	平　均						2.19
ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ事故	大学生全体	13,917	58.9	30.3	8	2.8	2.5
	化学系学科	5,638	59.6	30.2	7.6	2.5	2.5
	環境を冠とする学科	620	57.3	34	6.3	2.4	2.4
	上記以外の理系	4,406	60	31.4	6.4	2.2	2.5
	教育系	388	55.7	34.4	8.7	1.3	2.4
	文系	2,865	56.5	27.8	11.4	4.3	2.4
	T 工業大学	1,300	57.5	35.1	4.2	0.2	2.6
	化学クラブ研究発表会	104	63.5	27.9	2.9	5.8	2.5
	X 大学大学院生	187	64.7	30	4.3	1.1	2.6

	化学教育講習会	57	77.2	17.5	1.8	3.51	2.7
	Z 都立高校同窓会	53	77.4	17	1.9	3.8	2.7
	A 高校(終了・女子)	126	39.7	18.3	20.6	21.4	1.8
	B 高校(共学)	104	43.8	43.8	9.6	2.7	2.3
	C 高校	309	48.7	33.8	12.3	5.2	2.3
	平　均						2.45
ｽﾘｰﾏｲﾙｽﾞ島事故	大学生全体	13,917	12.8	12.4	22.5	52.3	1.8
	化学系学科	5,638	14.2	13.3	21.9	50.7	0.9
	環境を冠とする学科	620	11.3	10.7	28.1	49.8	0.7
	上記以外の理系	4,406	13.2	13.3	22.9	50.5	0.9
	教育系	388	9.4	8.9	31.8	49.9	0.8
	文系	2,865	10.3	9.9	20.8	59	0.7
	T 工業大学	1,300	17.6	19.4	22.5	40.5	1.1
	化学クラブ研究発表会	104	32.7	16.4	15.4	35.6	1.5
	X 大学大学院生	187	13.4	14.4	21.4	50.8	0.9
	化学教育講習会	57	57.9	24.6	10.5	7	2.3
	Z 都立高校同窓会	53	67.9	20.8	5.7	5.7	2.5
	A 高校(終了・女子)	126	3.2	8.7	19.1	69.1	0.5
	B 高校(共学)	104	9.6	15.1	20.5	54.8	0.8
	C 高校	309	4.6	7.2	18	70.3	0.5
	平　均						0.96

6. 集計結果の比較

用語ごとにその目安値をグラフにまとめた（図 1-1～7）．大学生全体は白抜き□，目安値全体の単純平均は黒塗り■で示した．

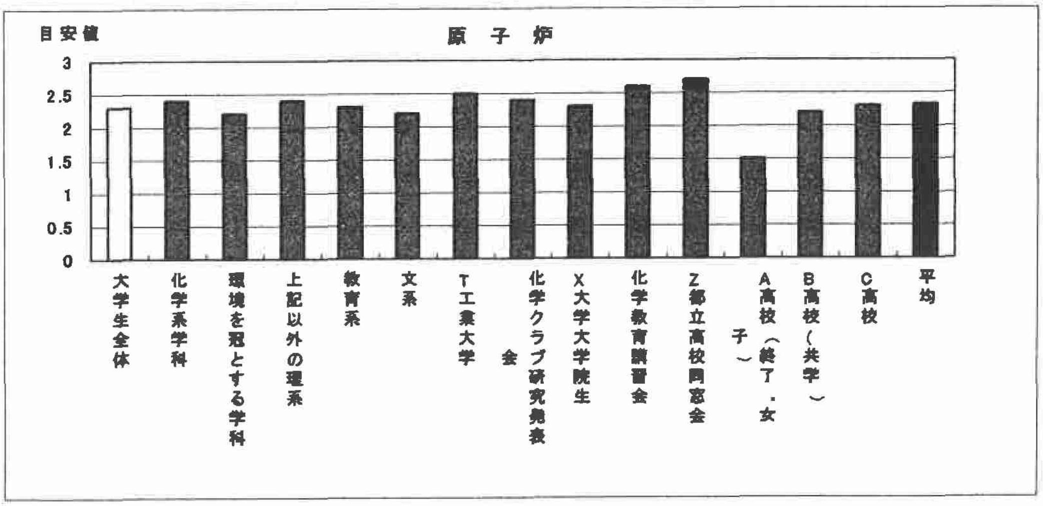
7. 教科書の記述

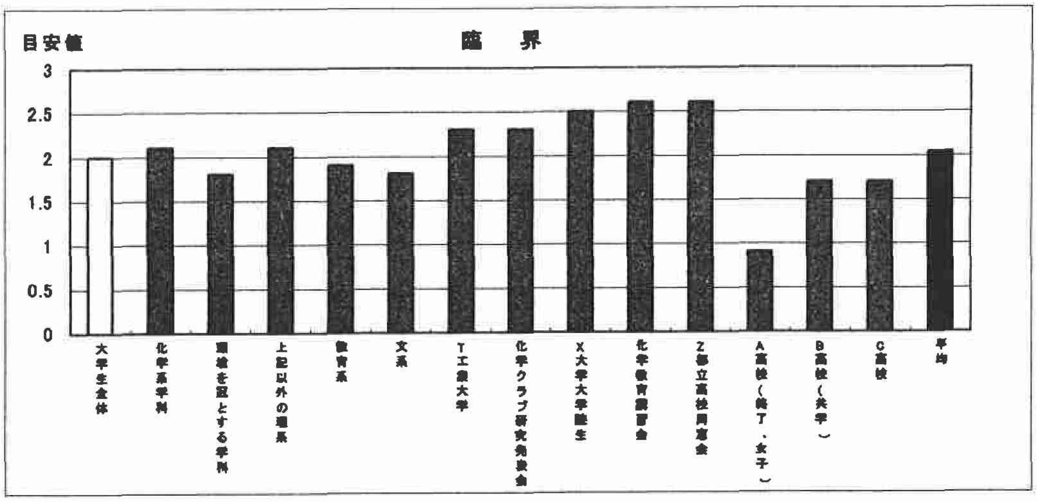
ここで抽出した「放射線」関連用語は高等学校の教科書の中にどの程度登場するのだろうか？

教科書の索引や本文中の記述，その用語に関する説明の有無を調べてみると表 3 のような結果であった．

表 3　高校教科書への「放射線」関連用語の掲載状況

用　語	物理 IB	化学 IB	生物 IB	現代社会	保健体育	家庭一般
原子炉						
臨界						
ﾗｼﾞｵｱｲｿﾄｰﾌﾟ		○	○			
半減期						
放射線	○	○	○		○	
ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ事故				○	○	
ｽﾘｰﾏｲﾙｽﾞ島事故				○		





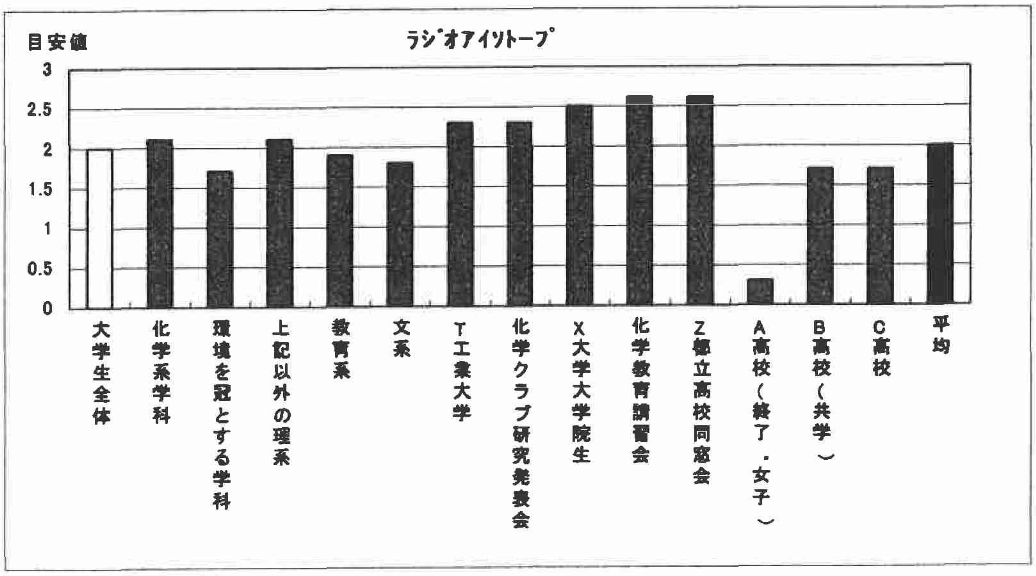
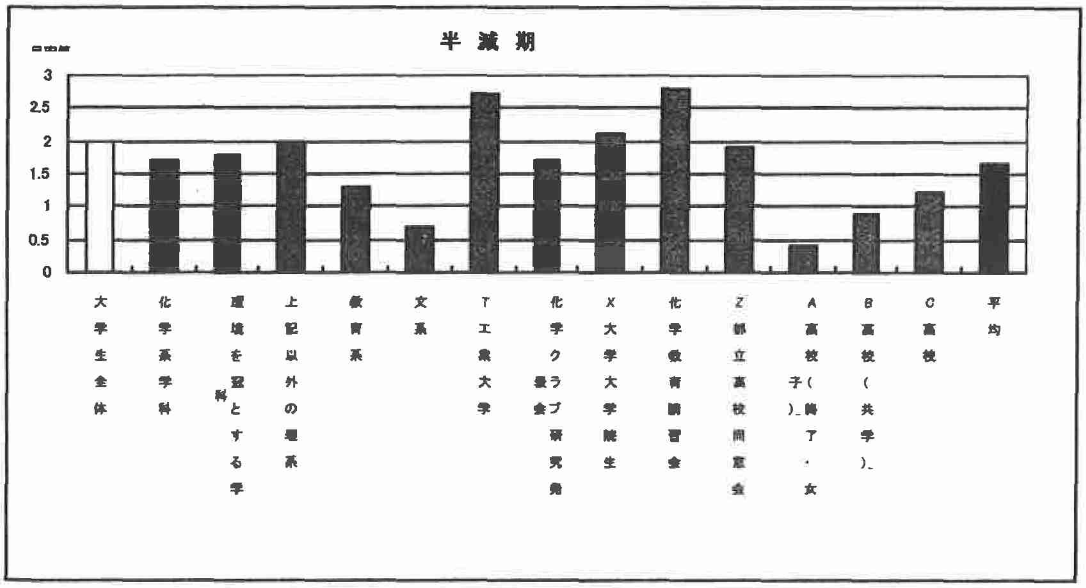
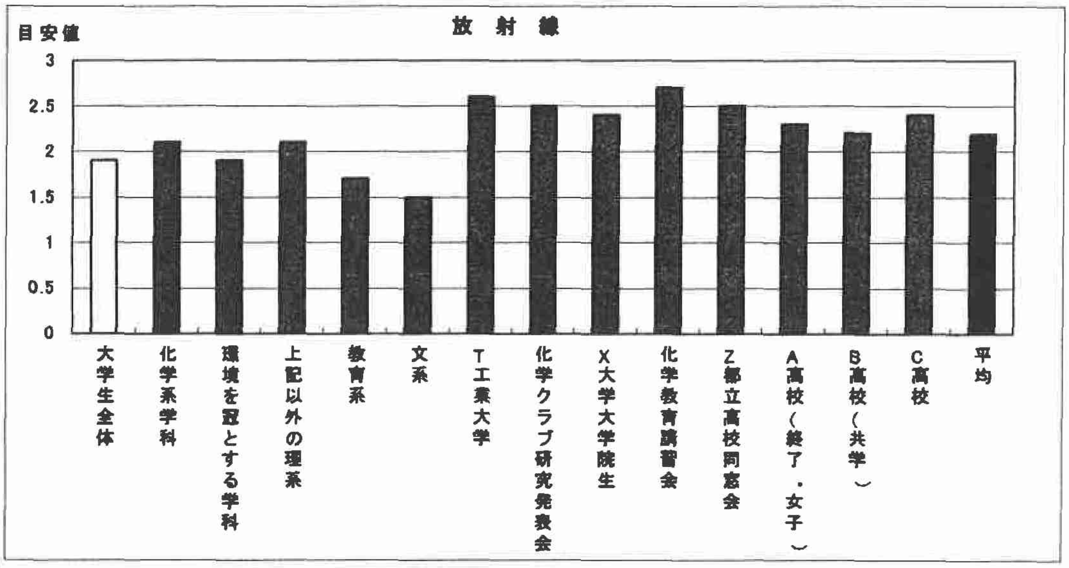


図 1-1～3　各グループの「放射線」関連用語に対する目安値





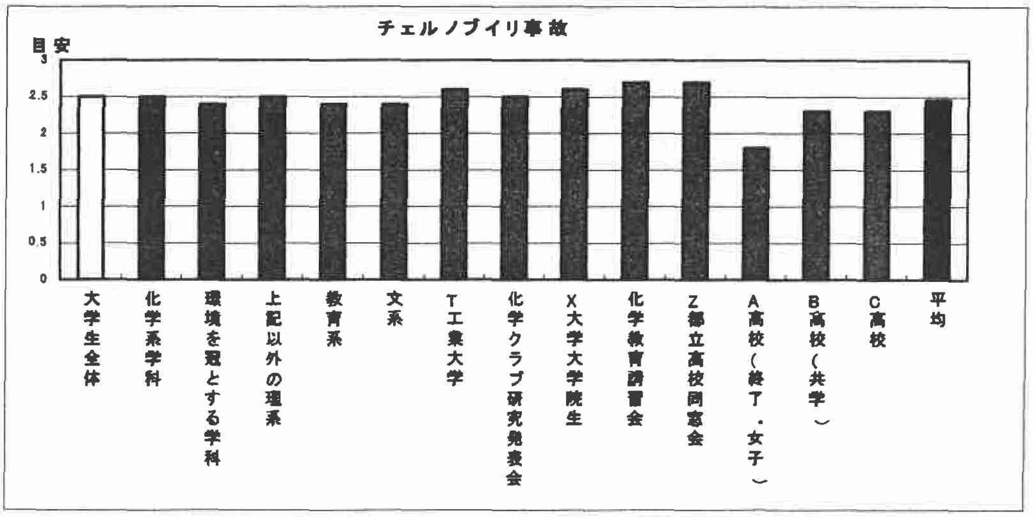


図 1-4～6　各グループの「放射線」関連用語に対する目安値

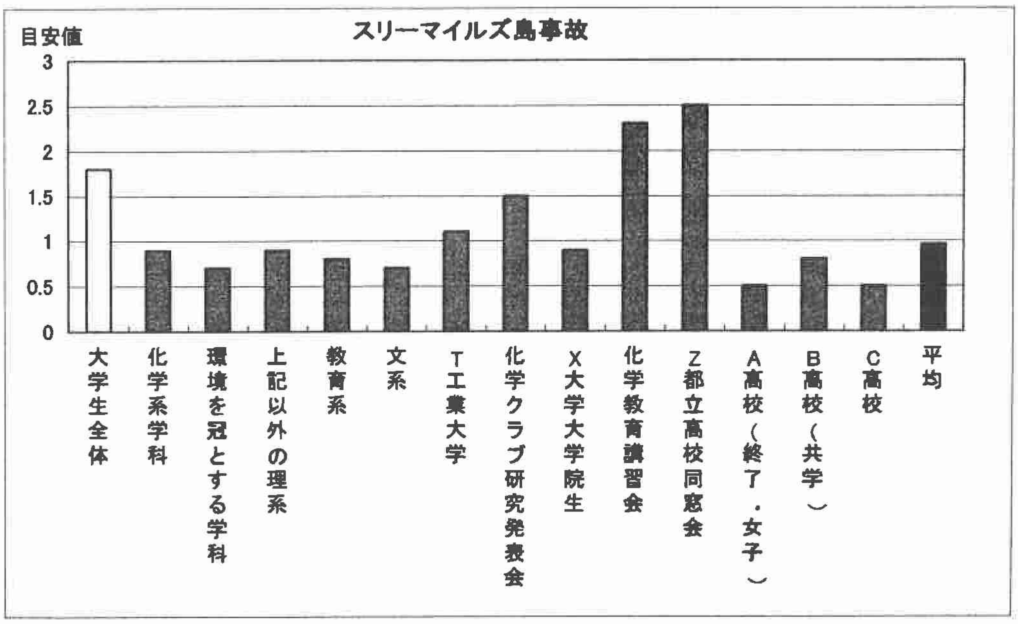


図 1-7　各グループの「放射線」関連用語に対する目安値

8.　新聞報道

次に新聞による「放射線」関連用語の報道回数を示した．表 4 はパソコン通信「日経テレコム」による「日経四紙」，「朝日新聞」，「毎日新聞」，「読売新聞」，「産経新聞」，の各紙の記事を 1990 年から 2001 年 2 月 12 日まで検索した結果と目安値（平均）を示したものである．新聞報道回数は原子炉が最も多く，放射線，臨界，チェルノブイリ事故と続いている．臨界などは専門用語であるが，1999 年の JCO の事故以来一般的に知られるようになり，新聞報道回数も急激な伸びを見せた．

目安値の平均値から「原子力用語」7 語を知られている順番に並べてみると，チェルノブイリ事故，原子炉，放射線，臨界，ラジオアイソトープ，半減期，スリーマイルズ島事故と言う順番になる．

また新聞報道回数と目安値（平均）の相関を調べたが，相関はほとんどなかった（図 2）．

表 4　「放射線」関連用語の新聞報道（件）及びアンケート目安値（平均）

用　語	1990～1995	1996～2001	1990～2001	目安値（平均）
原子炉	9,012	11,024	20,036	2.32
臨界	901	9,193	10,094	2.04
ﾗｼﾞｵｱｲｿﾄｰﾌﾟ	227	195	422	2.00
半減期	126	138	264	1.65
放射線	5,680	9,308	14,988	2.19
ﾁｪﾙﾉﾌﾞｲﾘ事故	1,489	1,341	2,830	2.45
ｽﾘｰﾏｲﾙｽﾞ島事故	130	91	221	0.96

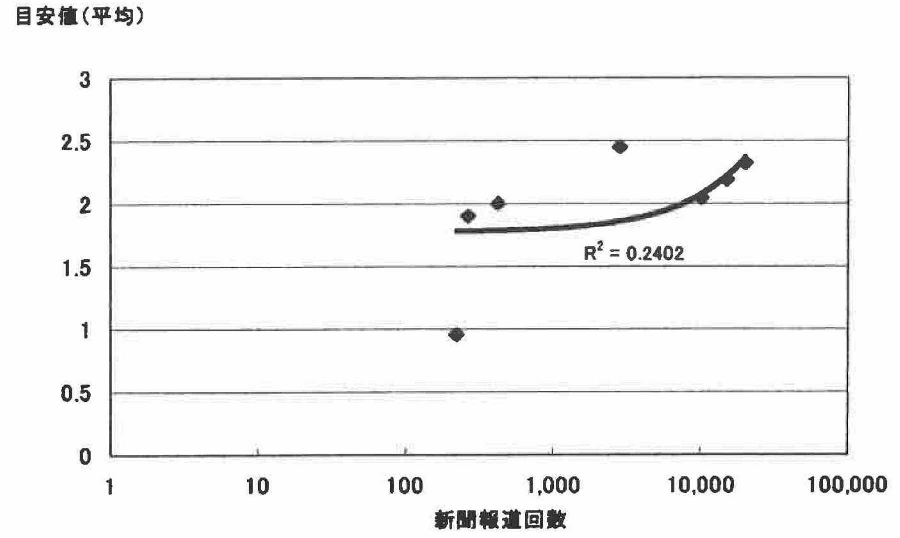


図 2 新聞報道回数と目安値(平均)との相関

9. 広辞苑の記述

近年電子辞書が一般的に利用されるようになって来ており，殆どの機種の日本語の搭載辞書として広辞苑が使用されている．また爆発的に普及率を伸ばしている携帯電話にも辞書を入れることは可能と聞いている．ここで取り扱った「放射線」関連用語を電子辞書で引いてみると次示すように 7 語とも収録されている．

①原子炉(nuclear reactor)

ウラン-235(^{235}U)，プルトニウム-239(^{239}Pu)などの原子核分裂の連鎖反応を制御しながら持続させるようにした装置．天然ウラン黒鉛型と軽水型に大別され，後者には加圧水型（PWR）と沸騰水型（BWR）とがある．目的により，研究用・発電用・医療用などがある．

②臨界 (criticality)

I　さかい．境界

II｛理｝物理的性質が不連続に変わる境界．特に原子炉で核分裂連鎖反応が一定の割合で維持されている状態．

③ラジオアイソトープ (radioisotope)

放射性同位体に同じ．RI．放射性をもつ同位体．原子炉や加速器による核反応でつくられる．炭素-14(^{14}C)，コバルト-60(^{60}Co)の類

④半減期 (half life)

放射性元素の原子数が崩壊により半分に減るまでの時間．ウラン-238 は 45 億年，プルトニウム-239 は 2 万 4 千年．

⑤放射線 (radiation)

I　放射性元素の崩壊に伴って放出される粒子線または電磁波．α線，β線，

γ線の三種をいう

が，それらと同じ程度のエネルギーをもつ粒子線・宇宙線も含める．α線はヘリウム(^4He)の原子核，β線は電子または陽電子から成る粒子線，γ線は非常に波長が短い電磁波．いずれも気体を電離し，写真作用・蛍光作用を示す．1896年ベクレルにより，ウラン化合物から発見された．

II　広義には種々の粒子線および電磁波の総称．

⑥チェルノブイリ（Chernobyl'）

ウクライナ共和国の首都キエフ北方の地名．1986年の4月，同地の原子力発電所4号炉で，炉心の爆発・溶融破壊，建屋破壊事故が起き，推定数億キュリーの放射能が放出．多数の死者が出，欧州諸国など世界各地へ放射能汚染をもたらした．

⑦スリーマイル島（Three Mile Island）

アメリカ東部，ペンシルヴァニア州ハリスバーグ市サスケハナ川にある島．1979年3月同島の原子力発電所加圧水型炉で炉心の半ばが溶融する事故が発生，放射能が外部に漏れた．

10. まとめ

ここに取り上げた「放射線」関連用語は，たまたま「環境用語」アンケートのかに選ばれた7語なので全体を網羅しているとは言い難いがこれで見る限り，1979年に起こったスリーマイルズ島の事故以外は目安値の平均が1.5を越えている事から知っている度合の方が多い結果ではあった．しかしわが国は先進国の中でも放射線教育は遅れている国の部類に入る．

集計の結果得られた目安値は，高校の教科書の記述や新聞報道とそれ程相関性も見られなかったが，チェルノブイリ事故は高校の教科書では「現代社会」や「保健体育」などで扱われ，目安値が大きかった．

全体を通して特徴的であったのは女性だけのグループであるA高校の目安値が低かった事である．このグループも「環境用語」全体の集計では女性が関心を持つような「リサイクル」，「リユース」などの「環境用語」は高い目安値を示していたし，女性ホルモンの一つ「エストロゲン」などの目安値は最高値を示していることから類推してみると，若い女性は自分の身の回りのこと以外にあまり関心を持たないのではないだろうか．関心のない事柄は意識に残らず通り過ぎてしまう結果であろうと思われる．自然放射線は私達の身の回りのあらゆる場に存在し，好むと好まざるとにかかわらず絶えず接しているのである．故に私達は知らず知らずのうちに水を飲んだり呼吸をするのと同じレベルで放射線と接している事を小学生位の段階で身につけさせればこうした無関心さは減少するのではないだろうか．

23万語の収録を誇る広辞苑（第五版）中には「放射線」関連用語7語全てが

収録されていた．現代は小さな手帳サイズの電子辞書を携帯していれば，わからない用語に出遭ったとき何時でも辞書を引く事が出来る便利な時代である．まめに調べる習慣を身につけて，先ず知る事から始めて行くことが望まれる．そうしたことを通して新しく設けられたカリキュラム「総合的な学習の時間」等で取り扱うテーマとして，身の回りにある放射線を取り入れてもらえるよう働きかけていくことも必要になって来ると思う．

11．参考文献

1）日本化学会　環境・安全推進委員会/化学教育協議会，環境用語アンケート調査報告「大学一年生は，環境をどの程度知っているか？」，日本化学会　環境・安全推進委員会/化学教育協議会（2001）
2）日本化学会　環境・安全推進委員会/化学教育協議会，環境用語アンケート調査報告「大学一年生は，環境をどの程度知っているか？」，化学と工業，54，No. 1，65-68（2001）
3）堀内公子，「環境用語」アンケートの集計結果，大妻女子大学紀要：社会情報研究　No. 11，219-229（2002）

（2003年3月17日受理）

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p. 49−56 (2002)

放射線教育に関する実践報告

森 厚文
金沢大学アイソトープ総合センター
(〒920−8640 金沢市宝町13−1)

1 はじめに

放射線・放射能・原子力は、先端研究や産業（医療、工学、農業利用、エネルギー資源の確保、環境保全）に利用され、学術の進歩、産業振興に重要な役割を果たしてきており、今後も重要かつ不可欠の利用技術として利用されると考えられる。

しかし、我が国は世界で唯一の被爆国であり、また放射線は五感でわからないことから原子力はもとより「放射線・放射能」に対して漠然とした怖さを感じている人が多い。さらにＪＣＯ臨界事故、東電の損傷隠し、もんじゅ訴訟、テロ対策などにより、最近は「放射線・放射能・原子力」に対する風当たりはますます厳しくなっているのも事実である。

近代科学技術は、われわれに素晴らしい便利さと繁栄をもたらしたが、その背後に危険性が潜んでおり、リスクを含まない科学技術はこの世に存在しない。したがって、21 世紀の先端科学技術・巨大科学技術が本当に人類を豊かにするものであるか、かえって不幸にするものであるかを充分考慮した上で、その科学技術を人類の財産として受入る必要がある。現代社会においては、先端科学技術・巨大科学技術をどのように用いるかは、専門家、非専門家を含めて様々な立場の人々がリスクの是非について一緒に考え、最終的には一般市民の社会的合意により決定されることになる。すなわち、「放射線・放射能・原子力」の科学技術について正当な社会的合意を得るためには、リスクを含む情報公開を十分行うとともに放射線・放射能に関する正しい知識を一般市民に身につけてもらう機会を提供することが必要と考えられ、本稿では金沢大学で行っている放射線教育の実践状況を報告する。

2 金沢大学における放射線教育

金沢大学における放射線教育として、教養教育の「総合科目—放射能・放射線と人間—」、学部・大学院の専門教育、ＲＩ取扱者対象の教育訓練を実施しているが、それ以外に下記のような放射線教育を行っている。

平成８年１１月	第１回金沢大学市民公開講座「放射能発見 100 周年記念講演会」
平成１０年６月	第２回金沢大学市民公開講座「キュリー夫妻ラジウム発見 100 周年記念講演会」
平成１２年5-6月	附属小学校への出前授業
平成１２年６月	第３回金沢大学市民公開講座「市民のための放射能・放射線の話」
平成１３年5-6月	附属小学校への出前授業
平成１３年５月	第１回北陸地域アイソトープ研究フォーラム
平成１３年９月	金沢大学教育開放講座 「視聴覚で確かめる“くらしの中の放射線”—体験講座—」
平成１３年１０月	金沢大学サテライトプラザーミニ講演・討論ー言いたい！聞きたい！エネルギー・環境問題とリスクコミュニケーション」
平成１４年５月	第２回北陸地域アイソトープ研究フォーラム

平成１４年６月　　　第４回金沢大学市民公開講座「金沢大学アイソトープ利用50周年記念講演会」
平成１５年２月　　　「おもしろ実験教室」—小学５・６年、中学１・２年対象—

上記以外に、理学部の中西孝教授（アイソトープ理工系実験施設長）により、数多くの中学校・高等学校への出前授業が実施されているが、金沢大学主催で行っている放射線教育のあらましについて以下に記すことにする。

3　市民公開講座

市民公開講座は平成 8 年から「一般市民の方々に放射能・放射線に対する理解とより一層の興味をもってもらうこと」を目的として隔年で開催しており、毎回250-300 名の市民・学生の受講がある。

この市民講座は金沢大学放射性同位元素委員会とアイソトープ総合センターが主催し、今までに４回開催されているが、ここでは第３回市民公開講座について記すことにする。

第３回市民公開講座「市民のための放射能・放射線の話」は平成 12 年 6 月 11 日（日）、石川県文教会館で開かれ、放射能・放射線について光と影の両面から考察し、市民の方々と一緒に考えるため、「臨界事故から何を学ぶか」と「医療における放射能・放射線の役割」の２つのパネルディスカッションを行うとともに「見学コーナー」を設けた。

3-1　パネルディスカッション１「臨界事故から何を学ぶか」

このパネルディスカッションは、主婦をパネリストの中心に据えて、主婦自ら金沢在住の主婦にアンケート調査した結果を基に議論が進められた。まず、素朴な疑問、例えば「臨界とは」、「青く光ったのはどうして」、「自然放射線と比較して、今回の事故でどれだけ被ばくしたのか」、「放射能と放射線の違い」、「臨界を起こす元になった中性子はいったいどこからくるのか」などについて主婦とジャーナリストから質問が出され、放射線科学の専門家が答えるとういう形で始まった。それから、主婦のアンケート「臨界事故についての疑問」、「科学者に対する期待」、「行政に対する期待」、「マスコミに対する期待」の結果（表１参照）を基に、事故原因、事故の教訓、解決すべき課題と具体的解決策について自由討論が行われた。市民参加型市民講座であるため、受講者にとって理解しやすく好評であり、地方紙の社説にも取り上げられた。

3-2　パネルディスカッション２「医療における放射能・放射線の役割」

具体的な症例を掲示して放射能・放射線が医療にいかに役立っているかについて 3 人のパネラーによる講演があり、引き続いて現状と将来の夢について討論が行われた。診断については、最近のコンピュータの発展に伴う「ヘリカルＣＴ」により微細な病変まで鮮明に描出できるようになり、また３次元画像による立体的把握が可能となるなど、最近の診断技術のめざましい進歩についての紹介とその将来性について討論があった。放射線治療については、最近の治療技術のめざましい進歩により根治的治療の適応が拡大してきている。これまでの“より強い治療法から、より精度の高い治療法”へと名実ともにメスの役割を果たすようになっており、近い将来“がんは切らずに治る”時代を迎えることもあながち夢ではない”という将来展望について討論がなわれた。遺伝子治療については、現状について放射線との関わりも交えながらその原理と応用例について分かりやすい解説がなされるとともに、技術的及び倫理的な問題点並びに将来性について討論がなされた。

3-3　見学コーナー

パネル展示コーナー：臨界事故に関する資料と「医療における放射能・放射線の役割」に関する図表がパネル展示された。前者は金沢大学の研究者が中心となった「臨界事故学術調査」の結果であり、一般の報道等からは得ることができないような貴重な資料や情報である。後者はパネルディスカ

ッション２で使用されたスライド、ＯＨＰの中から厳選された図表である。

実演と体験のコーナー：

・霧箱、放電箱で放射線を観る

・いろいろな携帯型放射線測定器で放射線（α線、β線、γ線、中性子）の検出と測定をする

・放射線源からの距離や放射線遮蔽材によって放射線がどれだけ減るだろうか

表１　臨界事故に対する主婦の意識調査（32の質問事項のうちの一部を抜粋）

＊ <u>臨界事故についての疑問・質問</u>

・管理と事故原因に対する疑問

・作業員の仕事に対する認識と社員教育のあり方

・JCOおよび原子力委員会・安全委員会の責任問題

・近隣住民への避難誘導が正しくなされたか

・施設を建築する時、住民への説明があったか

・事故後の国の対策（他の原子力施設の安全指導について）

・事故後、正確迅速に報道されたか

＊ <u>科学者に対する期待</u>

・特に医療面で期待している

・医療面での研究開発とエネルギーをためる蓄電池の開発

・がんの治療などにとても重要視されてきている。医療面でさらに研究を進めて欲しい

・診療への利用も必要最小限で、メリットの部分を生かし、極力デメリットの部分をなくするような研究を期待する

・科学を過信せず慎重にして欲しい

・地球環境を壊さないように、最善の注意を払って研究を進めて欲しい

・人類の平和を常に考慮できるモラルを忘れないで携わって欲しい

＊ <u>行政に対する期待</u>

・情報公開（開かれた行政を）（迅速な情報提供・ネットワーク完備、一般の人にわかりやすく説明、隠さずに公表、被ばく健康管理など）

・危機管理を徹底しないと、再び事故が起こしかねない（事故原因を究明し、再発防止策を構築）。管理するのは不完全な人間であることを念頭に置く

・原子力の利用を必要最小限に（放射性廃棄物処理問題、これ以上原発を増やさない）

＊ <u>マスコミに対する期待</u>

・迅速かつ正しい報道　ー 公平かつ国民の立場に立って報道 ー

（興味本位、いたずらに迎合した騒ぎ方、エキセントリック、不安のみを強調する報道は止めて欲しい。もっとわかりやすく、かつ詳しく報道して欲しい。分別のある見解を（消化不良は困る）。原子力そのものを危険視した報道は止めて欲しい）

・正確な知識を増やすための番組

・事故後の追跡についての報道（安全対策等がどうなったか）

・情報弱者（ろうあ者、盲者など）を考えた情報手段の確立

4　小学校出前授業

某アンケートによると、高校生に入学するまでに放射能・放射線に対するイメージ、すなわち怖いというイメージが確立してしまい、小学校高学年から中学生にかけての教育が重要であるといわれている。そこで、まだ固定観念の持っていない小学生を対象に正しい放射線教育をするのが最も効果的と考え、平成 11 年 9 月に金沢大学教育学部附属小学校を訪れて校長と副校長に出前授業の是非について訊ねたところ、興味をもたれ平成 12 年度から実施することとなった。その当時、出前授業は少なく、金沢大学における出前授業の先駆けとなった。

平成 12 年 6 月 3 日（土)、6 月 17 日（土)、7 月 1 日（土）の 3 回に分けて、6 年生 3 クラス全員（114 人）を対象に理学部、アイソトープ総合センター、アイソトープ理工系実験施設の教職員及び学生による出前授業を実施した。出前授業の目的は 1）放射線は五感では感じることはできないが、工夫をすれば放射線を目で見ることができ、また身の回りのいたるところに放射能・放射線があることを体験することにより、正しい放射能・放射線の知識を得る「きっかけ」を与えることと、2）科学への興味を持ってもらうことである。

授業内容は授業時間が約 2 時間と制限されるため、できることは限定されるが以下の４つの実験を行った。

（1）風船を使った実験（4～5 人で 1 組）

風船で空気中の放射能を集めて測定（GMカウンタ）することにより、空気中にも放射能が含まれていることを実感させる。

（2）放射線を目で見る実験（テレビモニタ使用）

＊霧箱：放射線が通った跡を飛行機雲のように見ることができる。

＊放電箱：放射線が通ると火花が飛ぶのがみえる。

（3）身の回りのもの（岩石、肥料など）の放射能測定実験（4－5 人で 1 組）

身の回りにあるものにも、放射線を出すものがあることを実感させる。

（4）場所の放射線の測定（1 人に 1 台）

簡単な測定器（「はかるくん」）を持たせて、学校の中（1 階、2 階、3 階の部屋の中央、窓側)、建物の外の放射線を測定することにより、放射線は地球上のどこにでもあり、また場所と条件によってその量が違うことを体験させる。

アンケートを授業前と授業後にとったところ（表２参照)、授業前は東海村臨界事故が起こった翌年であるためか、ほとんど全員の生徒が放射能・放射線は怖いものであるというイメージを抱いていた。しかし、授業後のアンケートでは何となく怖いというイメージがなくなり、身の回りに放射能・放射線があるのだということを実感し、楽しい実験だという感想が大部分であった。したがって、この授業は初期の目的を達し、成功であったと考えられる。

表２　アンケート結果＊

授業前（放射能・放射線のイメージ）	授業後（感想）
がんの治療などに使われたりして、人間を助けるけど、原爆みたいに危険な事もある。	放射線は危ない事があるけれど、役に立つこともあると分かりました。もっと他の物も計ってみたい。 霧箱や放電箱の実験はとてもきれいでした。 ガイガーカウンタはとてもすごかった。楽しかった

言葉を聞いて怖く感じます。	勉強前は全然放射線のことは知りませんでした。はかるくんを使っていろいろな場所を計ったりすると「放射線はどこにもたくさんある」とわかりました。風船の実験はとても楽しかったし、そんな実験があると言うことがわかって良かった。実験をとおして放射線がどれだけあるところに自分がいるかわかり、また放射線はどんなものかなと分かってとても良かった。
薬が毒になるように医療にも使われるし、兵器にもなるので、使い方によって変わるから、どのように扱えばよいのか心配。	放射線はそこまであぶなくないということが分かりました。この実験はとても楽しかったです。
放射線は目に見えないし、怖いなあと思います。体の中にはいると病気になるからです。放射線は良いこともあるけど、やっぱり人の体には悪いと思う。	身のまわりにもたくさん含まれていることがわかり、怖いものじゃないと思いました。 実験は楽しかったです。
普段は役に立つけど、少し間違えると、東海村のような大事件になる。	放射線はいろいろな所にあって楽しかったです。でも放射線は危ないから扱うとき安全に使いたいです。

＊６年１組38人のうち、代表的な５人を抜粋。

なお、平成 13 年度は、授業内容を若干変更し、（1）簡易霧箱の作製実験、（2）身の回りのもの（岩石、肥料など）の放射能測定実験、（3）場所の放射線の測定実験を行った。平成 14 年度は週休２日制が開始され、土曜日の出前授業が困難となった。そこで、平成１４年度から金沢市内の小学生・中学生を対象として、ほぼ同様の内容で「おもしろ実験室」を開催することとなった。

5　教育開放講座

前記の市民公開講座は多人数を対象とし、講演あるいはパネルディスカッションが中心である。そこで、少人数を対象に講義だけでなく実習を行う講座を大学教育開放センターとアイソトープ総合センターとの共催で実施した。平成 13 年 9 月 5 日から 9 月 25 日にかけて、金沢大学公開講座「視聴覚で確かめる‘くらしの中の放射線’―体験講座―」をアイソトープ総合センターで開催した。講義は毎週水曜日の午後 6 時 30 分から午後 8 時 30 分までの２時間で、計４回行われ、うち２回は実習も含まれていた。参加受講者数は１３名（うち女性６名）で、年齢別では４０代が６名と最も多く、年齢層は３０代から６０代までであった。講義はなるべく対話形式になるように心がけたのと、受講者の皆さんが非常に熱心だったこともあり、数多くの質問が出され、予定の講義時間を大幅に延長したこともあった。

講座の趣旨（講座案内に載っている原文）、内容は以下のとおりである。

5-1　講座の趣旨

「放射線」と聞くと怖いと感じる人が多いようです。一般の感覚としてはもっともであり、取り扱い者は安全を最優先にすべきです。しかし、好むと好まざるとにかかわらず、我々の身の回りには人類誕生のはるか昔からさまざまな放射性物質・放射線が存在し、また近未来に実現するであろう宇宙旅行でも放射線は無視できません。

この講座では、身の回りにある自然放射線を簡単に測定器で測ることにより視聴覚を通して放射線の存在を身近に体験していただくとともに、最新の高感度精密測定器を使う体験もしていただき、放射性物質・放射線を利用した最先端の研究に触れて頂きたいと思います。また、初等・中等教育の教材として活用していただける内容などもメニューに含まれています。さらに、放射性物質・放射線が

どのように利用されているか、放射線は何故、そしてどれくらい怖いのか、についてもできるだけ深く理解していただきたいと思います。

放射性物質・放射線が発見されてから１００有余年が経過し、その間、上手に利用することにより、人類の進歩、生活の向上に大いに役立って来ました。さらに、その有効利用は２１世紀も続くでしょう。そこで、これからも放射性物質・放射線と賢く付き合っていくために、一人一人みんなが正しい理解を深めて頂くことを趣旨としてこの講座を開催するものです。

5-2　講義内容

講義１：身の回りの放射線を測ってみませんか（1）－放射線をとらえる－

はじめに、放射能・放射線について正しく理解してもらうために、放射能と放射線の基礎知識についての講義が図を交えて平易に行われた。内容は宇宙・地球及び人体などのあらゆる自然界に放射能・放射線が存在すること、放射能と放射線の違い、放射線はどこから、どうやって放射されるのか、放射線の種類とその測定方法などについてであった。特に、一般の方によく見うけられる「放射線を浴びると体の中に残る」という誤解も、講義中質問があったが、十分理解されたと思われる。また、身の回りの空気中にも放射能・放射線が存在することを知ってもらうために、空気中の塵や埃を集めて、ピュア Ge 半導体検出器及びα線検出器で測定し、どんな核種が存在し、どんな種類の放射線が出ているか調べる実験・実演を行った。

講義２：身の回りの放射線を測ってみませんか（2）—放射線をみる－

はじめに、復習の意味も込めて放射性物質の特徴や放射線の種類・性質・単位等について説明があった。また、自然放射線による被曝や場所による違い等についても話があった。それから、実際に放射線を目で見るため、簡易霧箱を作製した。霧箱では放射線の通った後に霧状の白い筋ができるため、結果として放射線の軌跡が肉眼で観察できる。実際、自然のウラン鉱石からでる放射線が鮮明に見ることができ大変好評であった。次に、花こう岩や食べ物（果物、野菜）の中にある放射性物質がどのように分布しているか、最新測定器（バイオイメージアナライザ）を使って見てみた。測定した試料は花こう岩、かぼちゃ、レンコン、マッシュルーム、ピーマン等で、きれいな放射能分布画像が見られた。

講義３：放射線はどのように役立っているのでしょうか

放射性物質・放射線が社会生活にどのように役立っているかについて、分野別に具体例をあげて講義があった。まず、放射性物質・放射線の作用の特徴と作用別に何に利用されるか説明があった。具体的には、点灯管、時計などに利用される夜光塗料、医療製品などの滅菌、X線撮影、ラジアルタイヤ、磁気テープを使うビデオテープ、接着テープ、ラミネート製品、表面加工された紙容器、発芽防止ジャガイモ、各種抗菌グッズなど、我々の生活に密着した物にも放射線が利用されている。また、和歌山毒物混入カレー事件等の犯罪捜査で利用された X 線蛍光分析法、食料保存を目的とした食品照射の現状、考古学における形状及び文字解析や年代測定、癌などの診断・治療、害虫駆除、品種改良などの様々な分野で放射性物質・放射線が利用されており、いかに役立っているかについて理解を深めた。

講義４：放射線はなぜ怖がられているのでしょうか

放射線と聞くと原子力発電や核爆弾を思い浮かべ、すぐに怖い物と感じる人が多い。確かに原爆、原発事故を含む数多くの事故・不祥事により様々な人体影響及び重大な社会問題を与えてきたのも事実である。しかし、怖いという印象だけが一人歩きしてしまい、実際にどれくらい人体に影響があるのか、あまり知られていないのではないかということから、放射能・放射線のリスクについて、人体

に与える影響を中心に講義があった。講義は、X線やラジウム発見以来、初期におきた放射線障害の事例や放射線の人体影響・防護に対する国際的な調査・委員会の設置等について、また、放射線の人体への影響の種類、放射線障害の種類及び程度と被曝量との関係及び放射線障害の発生メカニズムについて話があった。受講者の人達にとって最も関心がある事柄であったため、数多くの質問があった。

6 サテライトプラザ —ミニ講演・討論—

金沢大学サテライトプラザでは、平成 12 年 9 月から、市民を対象に大学教官が専門分野について講演、市民と討論する場「ミニ講演・討論」を開いている。この「ミニ講演・討論会」は、平成13年 6 日、7 日に小学・中学・高校の教員を対象に開催された「原子力体験セミナー文系コース：エネルギー・環境・放射線・セミナー」での質問が契機で開催された。すなわち、小学校の先生から「原子力発電が安全ならどうして都会に造らないのか」という小学生の素朴な質問に対してどのように答えればよいのか、という問題提起があった。しかし、討論時間が不足で不十分な討論で終了したので、サテライトプラザ-ミニ講演・討論-が企画・開催された。

最初のチラシは「言いたい！聞きたい！原子力発電所をなぜ都会につくらないか」というタイトルで一部に配付されたが、余りにも刺激的なタイトルであるということで、「言いたい！聞きたい！—リスクコミュニケーションについて—」、「エネルギー・環境問題とリスクコミュニケーション」というようにタイトルを変えて配布された。「原子力発電が安全ならどうして都会に造らないのか」という質問に関する討論の内容及び感想を以下に記す。

「都会に原子力発電所を造る」という問題は、ごみ処理施設や産業廃棄物処理施設など、いわゆる迷惑施設（NIMBY、"Not In My Back Yard"）の立地に共通の問題である。しかし、原発を建設には、（1）大量の冷却水、（2）強固な岩盤、（3）ある一定の土地、すなわち、原子炉立地審査指針で決められた土地という条件がある。昭和 39 年 5 月 27 日の原子力委員会で「原子炉立地審査指針及びその適応に関するめやす」が決められおり、原子炉立地審査指針には原則的立地条件、基本的目標、適応範囲などが決められている。原則的立地条件には、「万が一の事故時にも、公衆の安全を確保すること」という条件があり、立地審査指針に（1）原子炉の周囲は、原子炉からある距離の範囲は非居住区域であること、（2）原子炉からある距離の範囲内であって、非居住区域の外側の地帯は、低人口地帯であること、（3）原子炉敷地は、人口密集地帯からある距離だけ離れていること、という指針がある。結局、都会で広大な土地買収は不可能に近いという現実的な理由もあるが、大量の冷却水が獲得できない、強固な岩盤は地表にはない、人口密集地である、という理由で最初から立地審査の対象外であるため、都会では原発立地はできないことになる。したがって、どんなに優れた超安全型小型炉ができたとしても原子炉立地審査指針を見直さない限り設置はできないことになる。

講師の１人である金子熊夫氏（当時は東海大学平和戦略国際研究所教授、元キャリア外交官）は、「メリットを受ける側から、リスクを引き受ける側に助成金などの「見返り」を要求すべきであり、最終的にはお金で解決するのではないか」と述べた。そのような面も確かにあるが、お金だけで解決するとは限らず、リスク感覚、あるいはリスク認知の不公平感をいかに解消できるかにかかっているのではないかと思わる。すなわち、原子力に対してリスク感が強い人は、助成金などでは不公平感を解消できない。また、金子氏は「国内では安全性、コスト、クリーン度という議論ばかりなされており、日本のエネルギー安全保障というもっと重要な視点からの議論が欠けている。安全保障が大事であり、そのために原子力が重要な役割を果たすとするならば、原子力を利用しなければならない」と主張した。確かに日本にとってエネルギー安全保障は重要かつ深刻な問題である。しかし、日本では

安全感というか、安心感が得られない限り、これからの原発の立地は都会はもちろんのこと地方でもなかなか難しいのではないかと思われる。

もし、都会で原発を造ろうとするなら、超安全型の小型炉の開発がどうしても必要になる。大型炉と比較してより安価で、メンテナンスなどの面倒なことがなくて、完全無人のほとんど完璧な安全炉をつくれば、電気だけでなく、熱としても使え、また送電線のロスもなくなる。それから原子炉立地審査指針を見直す必要があり、海上に原発を浮かべる「フローティングシステム」あるいは地下で造るような技術的な検討も十分する必要がある。日本あるいは世界のエネルギー安全保障のために、これらの問題について解決すべく検討及び研究をすることは必要かもしれない。しかし、これらがすべてクリアーされたとしても国民の理解が得られなければ原発立地は実現不可能と思われる。国民の理解、すなわち「安心感」を得るには、地道に事故を起こさない状態をずっと続けていくしかないと思われる。

最後に金子氏より「エネルギー利用においては供給地と消費地の間でメリットとリスクの分布に偏りが生じているが、現在の生活水準を維持するためには、供給地と消費地の間のリスクコミュニケーションに気づく必要がある。電力生産地の人間が声を上げ、都会の電力消費者がまじめに考えるきっかけをつくり、正しい方向に解決することが望まれる」という要望がだされて、講演・討論会を終了した。

7　おわりに

放射線教育（専門教育を除く）の対象には、小学生・中学生・高校生、大学生（特に文系）、一般市民（教員、主婦、会社員など）があるが、本稿では金沢大学において実施している市民公開講座などの概要について記した。当初の目的はある程度達成しつつあるが、専門家以外の人が放射能・放射線を「賢く怖がる」ことはなかなか難しいといわざるを得ない。

すなわち、社会心理学的*に（1）科学技術の効用とリスクの認知は、個人の立場や価値観、認知に影響を与えるバイアス、個人の知的水準、社会の価値観の歴史的変動などのさまざまな要因によって影響を受ける、（2）リスクコミュニケーションを阻む技術的な問題として、受け手の「認知能力の限界」がある。たとえば、人々の認知は出来事の記憶しやすさや想像しやすさによって影響を受ける、単にリスクがあるというだけでは必要以上に恐怖を感じることがある、人々の強固な信念は容易に変えがたい、リスク掲示の仕方を少し変えるだけでリスク認知を変えることができるなどである、（3）一方、科学技術の社会的合意に関し、「知識が足りないから反対し、無理解が結果的に社会の合理形成を阻んでいる」という観点からの広報は、それが効くのは最初から賛成している人であり、反対している人に対しては逆効果であるということも知っておかないと、合意形成はできない、（4）反復事故による不安感増強のメカニズムが働くため、「人々の意識や人々に認知してもらう」ということを言う前に、事故を起こさないような仕組みをつくる必要が絶対必要であるなどの問題がある。いずれにせよ、社会的合意のキーワードは「信頼性」であり、信頼性を確保することが先決であろう。

長期的には初等・中等教育や将来教員を目指す大学生対象の放射線教育（自然科学の基礎的知識を得るとともに、科学技術の利益とリスクについて自然科学と社会科学の両面から総合的に考えて、その科学技術を利用するかどうかを判断する基礎能力を身につける）を地道に続ける必要があり、放射線教育フォーラムの果たす役割は大きいと考えられる。

＊　木下富男：先端科学技術の進歩と社会的合意、北陸地域アイソトープ研究会誌No 3、2-21 (2001)

(2003年3月11日受理)

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p. 57−62 (2002)

放射線から見る生命と地球の歴史

大野新一，渡辺　宏
理論放射線研究所
（〒227 - 0054 横浜市青葉区しらとり台 12 - 5）

要旨
地球誕生後の微惑星の衝突によって溶融した地球は，以後冷却の道をひたすら歩むことになる。冷却にともなう必然的な事件として，海洋の形成と生命の誕生（４０億年前），地球磁化と生命の浅海への進出（２７億年前），オゾン層の形成と生命の陸地への進出（５億年前）をとりあげ，地球環境としての宇宙線に注目しつつ，放射線，生命，地球環境の歴史を考察する。要素追究型から歴史の解読に基づく総合化へという新しい教育の手法を試みる。

１．はじめに

生命の起源と進化，宇宙の構造と歴史などに関するわれわれの知識は，とりわけ 20 世紀後半において飛躍的に豊かになった。21 世紀においては，われわれ人類はどこから来てどこへ行くのか，持続的な人類の繁栄は可能なのか，悪化するであろう地球環境を逃れて宇宙空間に新天地を見出すことはあり得るのか，などの問題に取り組まざるを得なくなる。ここで要請されることは，要素還元型の知識・経験ではなく，むしろ歴史に基づいた総合化の能力であることはいうまでもない。

本稿は，宇宙線ならびに放射線，生命の起源と歴史，地球の歴史などのごく基本的な知識に基づいて，われわれの将来への提言を準備する試みである。それはまた学校授業における生物，化学，物理，化学の各教科に密接にかかわる問題でもあり，総合的な学習の時間をすすめるときの参考にしていただけたら幸いである。

生命を含めて地球あるいはより広く太陽系でみられる物質は，すべて太陽系形成以前に起こった事象にもとづくものであり，とくに超新星爆発とそれに続く星間分子およびダスト表面における放射線化学反応が重要である。地球上で見られる生命が地球上で発生したと考えることはごく自然である（生命の地球起源説）と思われる。地球上の生物は，形や性質・行動様式はさまざまであるが，構成単位は共通であり，核酸（DNA）とタンパク質を含み，外界と膜で仕切られる細胞である。また細胞内のエネルギーのやりとりにはアデノシン三リン酸（ATP）が使われる。このことは生物が共通の祖先から進化したことを強く

示唆している。

生命は地球の表層部に活動しているが，地球表層環境は地球の中心部コア，マントル，地殻，海洋，大気，磁気圏，太陽圏などとのエネルギーと物質の流れに支配されている。生物が生存する地球表層環境だけをとりあげて考えても意味のないことである。では地球全体がもつエネルギーと物質はどのように決められているか。それは 46 億年前に地球が形成されたとき，あるいは以後の数億年間で微惑星や隕石の衝突で物質と重力エネルギーを獲得し，定まったといえる。現在でも太陽からエネルギーを受けるが同じ量のエネルギーを宇宙空間に向けて放出するので蓄積されることはない。それ以後の地球は，エネルギーを放出してただひたすらに冷却するだけの歴史である。とはいえ，地球表層について注目したときには，地球の内部や海洋・大気との間で物質とエネルギーのやりとりがあるので一定ではありえない。いわゆる環境問題は，できるだけ定常状態を維持することである。

ここでは，以上の前提に立って地球と生命の歴史を概観し，それを放射線の強度と言う観点から総合的な視点で考えてみる。

２．　地球形成以前・生命以前

1 つの銀河系内で発生する超新星爆発は 10 年ないし 20 年で 1 回という頻度であるが（観測されるのは 100 年に 1 回程度とされる），これによって星が合成した元素が星間に放出され，同時に銀河系内を飛び交う宇宙線が生成される。放出された元素は星間を漂う間に温度低下にともない凝縮を起こしダストを形成したり，宇宙線によるイオン・分子反応による分子の合成，分子のダスト上への凝縮，宇宙線による低温固相の合成化学反応を経験する(3)（図―１，図―２）。ここではアミノ酸をはじめ多くの生体物質，高分子がつくられたと考えられるが，とくに宇宙線の関与に注目したい。星間空間では，常時このようにして多くの種類の分子，ミクロン以下の大きさのダスト，そこから生成するイオン（プラズマ），荷電粒子の運動による磁場，磁場で加速される宇宙線などであふれている。

４６億年ほど前に銀河系のあるところで超新星爆発が起こり，このときの衝撃波に触発されて星間ダストが掃き出され，互いの重力で集積運動をはじめ太陽系が形成されたと考えられている（1）。太陽系内の元素組成の分布などは，太陽が太陽系の質量の９９.８％を保持しているので，現在の太陽における元素組成を分析すれば知ることができる。部分的には隕石などの精密な分析も利用でき，これらはよく知られている。太陽系の質量の残りは水素，そして少量の水，メタン，アンモニアとして木星，土星などの木星型惑星に集まっている。太陽自体の中には複雑な有機分子はダストの凝集のさいに消失したことはもちろんである。惑星における元素組成あるいは分子の分布状況を考えると，太陽の近くのいわゆる地球型惑星では水素，炭素，窒素，希ガスなどの揮発性元素

は遠くのかなたに吹き飛ばされ，金属と岩石を主成分とする。水，メタン，アンモニア，その他の合成された複雑な高分子などはすべて彗星の故郷ともいわれるカイパーベルト帯あるいは太陽系を大きく取り巻くオールトの雲に氷片の形で存在すると考えられている（図―3）。

ここで強調したいことは，生命物質をつくる素材は太陽系内ではありふれた存在であり，たまたま太陽の近くで見出されなくても，宇宙線・紫外線をふくむ合成過程を考えると宇宙では普遍的な自然現象にほかならないことである。

３．　海の形成・生命の誕生

４６億年前に太陽系が形成されてから，直径１０ km 程度の微惑星どうしの衝突によって地球ができ，次第に大きさを増してきた。微惑星の衝突は大きな重力エネルギーの解放を意味し，地球はこのときにエネルギーを蓄積したと考えられる。地球が現在の半分程度の大きさになった頃から，衝突する微惑星の数が減り，以後の地球は冷却する道をすすむ。衝突エネルギーは，主に熱エネルギーとなって赤外線の形で宇宙空間に放射される。岩石成分が溶融してマグマになる温度では，脱ガスの組成は水，二酸化炭素，窒素などである。微惑星の地球が脱ガス気体で覆われるにつれて，温室効果によって熱が地表面にたまってくる。ついに表面はドロドロに融けてマグマの海が形成される。マグマの海は深さ 1000 から 2000 km と考えられている（１）。

冷え始めた地球は，まず大気から水蒸気が凝縮して海洋を形成した（４０億年前）。大気の主成分は二酸化炭素となる。一方で溶融マグマ内では金属鉄・ニッケルなどの比重の大きい成分が沈殿し（コア）と残りの岩石部分（マントル）に分かれていたが冷却にともないさらに表面に地殻を形成した。ここで当時の太陽の明るさの増加の速度と地球大気中の二酸化炭素量，海の二酸化炭素吸収能力などのバランスのもとで地球に陸地ができたことは以後の地球の歴史を考えるさいに大きな役割を果たすことになる（１）。

最近の研究成果によれば，最初の生命はおよそ４０億年前であろうこと，３８億年前にははっきりした化石が残されているとされているが，その岩石はあきらかに当時の深海底，しかも熱噴出口付近であると考えられている（２）。

ではなぜ深海であったのかを考えることが重要であろう。ここですぐに結論を出すことはできないが，以後の生命の歴史を考察すると，おそらく当時の地球表面における宇宙線強度が DNA 分子の持続を可能としない程度のものであったことが原因と考えられる（後述）。深海底であれば，太陽からの放射線のほとんど，そして銀河宇宙線のうちのエネルギーの比較的小さい部分からの損傷が免れるのである。当時の地球はまだ磁化が始まっていなかったので荷電粒子はそのまま地球表面に侵入できたのある。このことにより銀河宇宙線からの被ばく線量は現在の１００倍程度（３），また太陽からの（太陽風による）被ばく線量を含めると現在の値よりも３桁から４桁程度大きいと推察される。暗闇の深海で生命は太陽エネルギーを利用することはできないが，地球内部から

噴出してくる熱，化学物質を利用することができた。

４．　地球磁化（２７億年前）と生命の浅海への移動

さらに地球の冷却が進んでくると，コアの金属鉄・ニッケルが液体（流体）から部分的に固化をはじめたことによって地球中心部分で電流が流れるようになり，現在と同じ程度の地球磁化が発生した。これにともない生命は徐々に深海から浅海に移動できたと考えられる。いまから２６，２７億年前という証拠が生物化石からもまた地球の歴史の研究成果からも得られている（2）。地球表面における宇宙線強度の歴史に関する研究が遅れているので断定はできないが充分に考慮に値する研究対象である。

浅海に乗り出した生命は，ここでは太陽光を利用できるのである。シアノバクテリアなどのらん藻類が繁殖してくる。光合成の始まりである。酸素が少しずつ増加し，まず海洋中の２価鉄イオンが酸化されて沈殿を促し，鉄鉱石ができる。ここから２０億年をかけて酸素は増加し続け，窒素につぐ大気の主成分となるのである。途中の進化の過程で重要なことは，酸素による DNA 分子の不安定性である。これにより，細胞は DNA の保護を目的として真核細胞の発生をみたと考えられる。また細胞の機能が進化し，多細胞の集団を形成して分業システムが確立され，また細胞のエネルギー利用に酸素を反応物質として利用することも可能ならしめた。

５．　オゾン層の形成と生物の上陸

大気中に酸素が増えてくると，上層大気では酸素による太陽紫外線との化学反応がすすみ，オゾン分子がわずかに生成してくる。

$$O_2 + \text{紫外線（0.24}\mu m\text{以下の波長）} \rightarrow O_3$$
$$O_3 + \text{紫外線（0.2－0.35}\mu m\text{の波長）} \rightarrow O_2$$

２つの反応は定常状態に達すると２つの反応で一定濃度のオゾンが保たれ，これによって DNA 損傷を起こす紫外線（放射線，宇宙線などと同じ損傷効果をもつ）が地球表面にくるのを防ぐようになった。いまから５億年ほど前である。こうして始めて生物は陸地に上陸できるようになった。まず植物が上陸，つぎに動物が重力に耐え得るような硬骨格を準備したあとで上陸して生命の活躍を謳歌するようになったのである。

６．　これからの地球と生命

生物の進化を考えるとき，生命をつくる材料物質はたしかに放射線が重要な役割を果たしたと言える。しかし生命の誕生のプロセスに関しては，いまだ解明

されてはいないが，放射線の寄与を考えている研究者はほとんど見当たらないのではないだろうか。皆無であると言ってよい。原子力関係者あるいは放射線セミナー関係者からときどき聞かされる「生命は放射線とともに誕生した」に類する言葉は無視することにしたい。以後の生物進化にどのように放射線が関わったのかについても，もちろん DNA に誘起される突然変異の変異原の可能性はあるがいまだ定かではない。

ここではっきりと主張したいことは，生命は放射線からの損傷をさけつつ，地球環境の変化に伴って放射線場の消失したところへと活動の場を広げてきたことである。もちろん現在の地球表面でも自然放射線は存在するが，われわれをつくる細胞数やアボガドロ数の大きさからすれば，自然界に放射線があるというよりはむしろないといったほうが適切である場合が多いのではないだろうか。生命物質も通常の化学物質も同じように放射線からの作用を受ける。決して違いはないのである。放射線に対する感受性が生まれるのは分子の幾何学的な大きさによるものと考えられる。大きな分子はそれだけ多数の電子（化学結合にあずかる電子）をもつので，それだけ放射線の影響を受けやすいと言ってよい。そしてタンパク質や DNA 分子がまさしくこのような巨大分子である。タンパク質は細胞の機能をつかさどるが，DNA は細胞の増殖に関わり，自分自身のみならず新しく生まれる細胞，子孫に伝達すべき情報をうけもつので損傷に対する影響はより大きいと言える。

地球環境はこれまで地球の冷却過程で進化（複雑化すること）してきたが，これからの地球はどのような変遷を辿るのか，考えていかなければならない。地球史，生命史，加えて，ここでは放射線史を考えたが，歴史はすべてが相互に密接に関連しあっている。個別の要素を取り上げるよりも，全体を総合的に考えることの例を提示した。ここから得られる結論の一つは，生命の遺伝情報の伝達をうけもつ DNA 分子が放射線に感受性が高い（弱い）物質であること，しかもその感受性は DNA 分子の大きさとともに増大するらしいことである。

参考文献

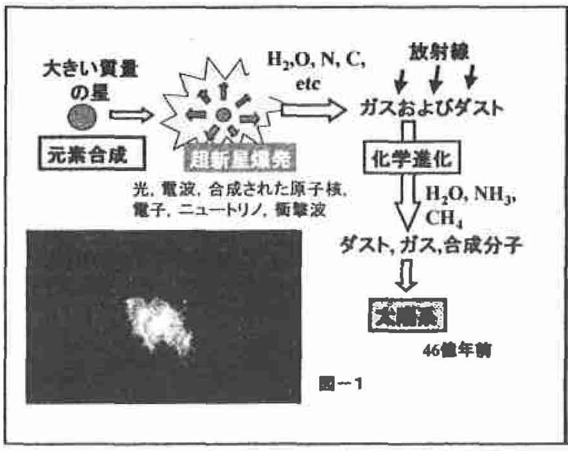
（1）　松井：「地球惑星科学入門」，岩波書店（1996）

（2）　丸山，磯崎：「生命と地球の歴史」岩波新書（1998）

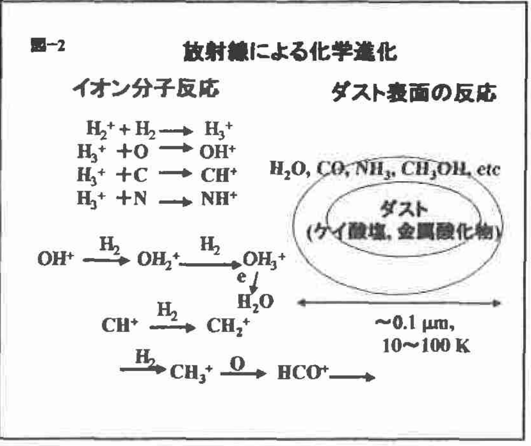
（3）　香内：「宇宙にただよう氷と進化」，化学と生物，31，708（1993）

（4）　大野，八木，新井：「自然放射線被ばくによる線量の理解―宇宙線ならびに岩石中の放射性元素の起源に関する研究」，放射線教育，5，41(2001)

(受理月日 2003 年 3 月 18 日)



図ー1



図ー2

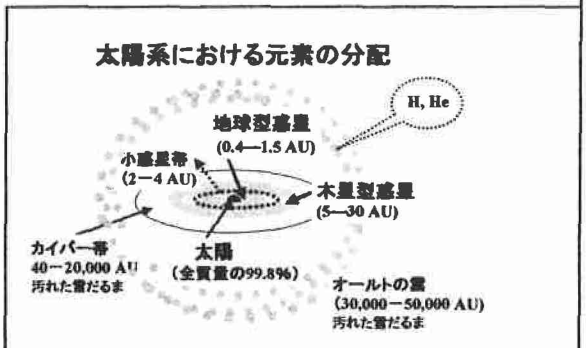
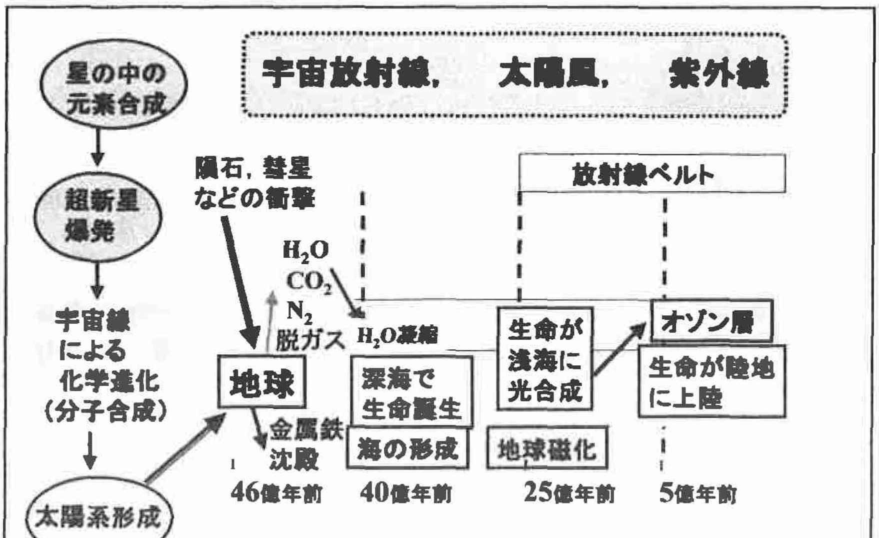


図 - 3

地球史年表

	(大気 マントル コアの分離)
40億年前 生命の誕生	40億年前 海の形成
27億年前 浅海で光合成生物の出現	27億年前 地球の磁化（海洋で赤鉄鉱沈殿）
21億年前 真核細胞の出現	21億年前 酸素の増加
10億年前 多細胞生物の出現	
5.5億年前 硬骨格生物の出現	
4.5億年前 生物の上陸	5億年前 オゾン層の形成

文献2)により作成



図ー4 冷却地球にともなう放射線場と生命の進化

放射線教育 Radiation Education
Vol. 6, No. 1, p.63−66 (2002)

放射線と物質の相互作用　（ 2 ）

中村真基
放射線教育フォーラム
（〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館　BF1）

前回に続き電子と物質との相互作用につき述べます。

2．電子と物質との相互作用

電子と物質との相互作用も、入射電了と原了或いは分了内の電子間のクーロン力を介して起こる作用ですから、本質的には重荷電粒子と物質との相互作用同じです。ただ、電子はエネルギーが少し大きくなるとたちまち光速度に近づきますから相対論の効果を無視できないこと、相互作用する粒子が共に電子で、衝突後入射電子と衝突された電子の区別が不可能に成ることなどの事情により、その取り扱いは複雑になります。ここでは衝突によるエネルギー損失量の結果だけを挙げておきます。

$$-\frac{dE}{dx}=\frac{2\pi k^2e^4}{mv^2}\frac{N_A\rho}{A}\log_e\left[\frac{mv^2E}{2I(1-\beta^2)}-\{2(1-\beta^2)\}^{1/2}-1+\beta^2\}\times\log_e 2+1-\beta^2\right]\qquad(2-1)$$

用いた文字記号は重荷電粒子の場合と同じです。形式的には（１１）式と同じ形になっていることがお分かりでしょう。（１１）式では４πだったのが（２－１）で２πとなったのは、質量の同じ粒子の衝突だから、（１１）式の場合の様に入射粒子が反作用によって動くことのない場合の半分になる訳です。衝突後、入射電子と衝突された電子の区別がつかなくなると言いましたが、エネルギーの高い方の電子を入射電子、低い方を散乱電子と言うことになっています。また、重荷電粒子の物質中での進路は直線であるのに対して、電子の場合は軽い同種の粒子の衝突ですから、その進路はジグザグになります。その様子を図４に示します。

電子にはまた別の形の損失があります。電子のエネルギーが高くなり軌道電子との相互作用を乗り越えて原子核の近くを通過するようになると、電子には原子核の強い電場が作用し大きな力（Ｆ）が働きます。そのため電子には大き

な加速度（a）が生じます。この場合aは，電子の質量をm_eとすると　$F=m_e a$　と，Fはクーロン力ですから　　$F=kZe^2/r^2$ より、$a=(kZe^2/m_e r^2)$ となり、加速度aは核の電荷Ｚｅに比例し質量m_eに逆比例します。ｒは核と電子との距離ですから個々の電子により異なった値をとります。電磁気学の教える所によりますとｅの電荷を持った粒子が加速度ａの運動をすると、電磁波の形で単位時間あたり　（$2e^2/3C^3$）・a^2に比例したエネルギーを放出します。
ですから、高エネルギーの電子がＺｅ の電荷を持った原子核の近傍を通過すると（kZe/m_e）^{2}に比例したエネルギー損失を受けるのです。これを電子の放射損失といいます。結果を式で現すと次の様になります。

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{放射}=\frac{4r_0^2}{137}Z^2k^2EN\log_e\left(\frac{183}{Z^{1/3}}\right) \qquad (2-2)$$

r_0は電子の古典半径と言われるもので（e^2/m_eC^2）をr_0と置き換えたものです。またＥは電子のエネルギー、Ｎは単位体積当たりの電子数、Ｃは光速度です。したがって（２－２）式にはr_0^2を通して（$(Z/m_e)^2$の形が含まれています。そして高エネルギー電子の放射する電磁波はＸ線です。そのＸ線のエネルギーは電子が加速運動を起こす場所の核からの距離ｒにより異なりますから、同一エネルギーの電子群が物質に入射しても種々のエネルギーのＸ線が混ざるわけで、いわゆる連続エネルギースペクトルになるのです。また物質の原子番号Ｚが大きければ大きい程放射損失が大きくなることが式から分かります。Ｘ線を発生させるＸ線管でターゲット物質にタングステンの様に熱に強く、原子番号の大きな（タングステンの原子番号Ｚ＝７４）物質が使用されるのはこのためです。

（２－１）式の右辺の分母に　mv^2　の項がありますがこれは電子のエネルギー（Ｅ）に相当する項です。したがって衝突損失は電子のＥに逆比例し、放射損失はＥに比例しますから電子のエネルギーが低いうちは衝突損失が優勢ですが、エネルギーが高くなるにしたがい放射損失が勝るようになります。ですから電子の或エネルギーで衝突損失と放射損失の比が１：１になる値があります。この値をエネルギー損失の臨界といいます。そして臨界エネルギーは物質ごとに異なります。その様子を表１に示します。

入射エネルギーがE_0の電子が物質中を距離ｘ通過する間に放射損失だけでエネルギーがＥになったとします。E_0とＥの関係は（２－２）式よりもとまります。入射物質のＺが決まると、（２－２）式の右辺はＥ以外はすべて常数ですからこれを纏めてＫと置けば,

（２－２）式は

$\frac{dE}{dx}=-KE$ と書くけ、さらに $\frac{dE}{E}=-Kdx$

と書き直せます。

両辺を積分すれば $\log_e E=-Kx + C'$ となり、また書き直して

$$E=C'e^{-Kx}$$

となります。積分常数 C' は初期条件 $x=0$ のとき $E=E_0$ より $C'=E_0$ と決まります。よって

$$E=E_0 e^{-Kx} \qquad (2-3)$$

が求める関係です。始めE_0のエネルギーの電子が輻射損失により e^{-1} 倍（eは自然対数の値）になるまでの走行距離を輻射距離X_0と言います。この定義を（２－３）式に適用すれば、 $Kx=1$ を満足すれば良い訳ですから $X_0=1/K$ あるいは $1/X_0=K$ となり、（２－３）式は

$$E=E_0 e^{-x/X_0} \qquad (2-4)$$

またKを元に戻して

$$\frac{1}{X_0}=\frac{4r_0^2}{137}Z^2N\log_e\{\frac{183}{Z^{1/3}}\} \qquad (2-5)$$

とあらわすことができます。各物質の輻射距離の値も表１に示します。ただ単位が g/cm^2 と見慣れない単位ですが、これは放射線分野で便利に用いられているものでその意味は、ある厚さの板から１cm^2の面積を打ち抜き、その質量を測りその値で板の厚さを表す事にしたのものです。輻射損失により放出されたＸ線は医学を始めいろんな分野で広く利用されています。

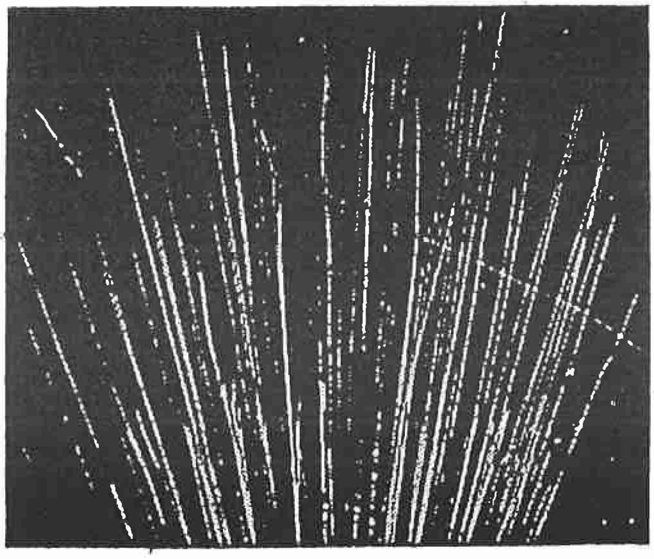
以上をもとに電子の物質中でのエネルギー損失は

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{電子}=\left(\frac{dE}{dx}\right)_{衝突}+\left(\frac{dE}{dx}\right)_{放射}$$

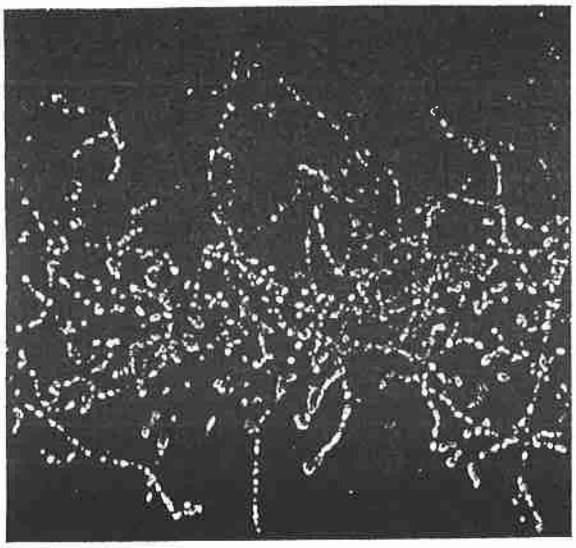
となるのです。

放射線としてはＸ線やγ線、中性子線等がありますがこれらの放射線と物質の相互作用については、また次回に述べることにいたします。

(2003 年 3 月 19 日受理)



α線の霧箱中の飛跡



X線により原子から叩き出された電子の霧箱中の飛跡

図　4

朝永振一郎著　量子力学（1）より

表　1

物質の種類	Z	X_0 (g/cm²)	ε (MeV)
水素	1	69.3	382
ヘリウム	2	96.0	229
炭素	6	44.4	102
窒素	7	39.3	88.8
酸素	8	35.2	78.3
アルミニウム	13	24.4	48.8
アルゴン	18	19.7	35.1
鉄	26	13.8	23.9
銅	29	12.8	21.3
鉛	82	5.83	6.90
空気	N 76.9% O 21.8 A 1.3	37.8	84.7
水	H 11.1% O 88.9	37.3	95.8

「放射線教育」投稿規定

2003. 3. 15

（1）掲載論文の種類

①投稿論文　　会員（または非会員）からの投稿論文

②依頼論文　　編集委員会が執筆を依頼した論文

③転載論文　　他誌からの転載で，編集委員会が必要な手続きをとるもの

（2）掲載する論文の内容

①放射線・放射能，およびこれに関連の深い事項(エネルギー，環境，リスクなど)に関するわかりやすい論説，解説

②放射線教育に関する実践報告，提案，批判など

③放射線教育に役立つと思われる論文・書籍などの紹介

（3）原稿の書き方

①原稿はそのまま印刷できるようにワードプロセッサーで作成する。

②用紙はA4，１ページに40字×40行，上下左右それぞれ30mmを空ける。

③フォントは表題のみ16ポイント太字，その他（本文）10.5ポイント標準とする。

④１ページ目の第１行目に表題，２行目を空けて，３行目に氏名，４行目に所属，５行目にカッコ内に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。

⑤６行目を空けて，７行目から[要約]（150－200字程度）をつける。

⑥原稿は原則として10ページ以内にまとめる。別刷り作成に便利なように偶数ページの原稿として下さい。

⑦使用言語は日本語とする。

（4）掲載までの手順

編集委員会は，査読者に査読を依頼し，著者に修正を求めたり，掲載を断ったりすることもある

（5）論文の版権

掲載された論文の版権は放射線教育フォーラムに属するが，論文内容についての責任は著者にあるものとする

（6）原稿の送付

そのまま印刷される図表つきの原稿本文を下記あて送付する。またフロッピーの同封，もしくは編集委員あてE-mailによる本文の送付を歓迎する。尚次号の締切りは2004年1月31日となる。

（送付先）〒100-0013　東京都千代田区霞ヶ関3-3-1　尚友会館B1F
放射線教育フォーラム編集委員会
（封筒に「放射線教育投稿原稿」と朱書する）

【編集後記】

皆様のお陰で本号には多種多様な論文が揃いました。全ての論文が放射線教育に役立つことを期待しています。ところで放射線は難しいですね。物理学や化学の辞典で放射線について調べてみると、辞典によってその定義はいろいろです。これでは放射線を教えるのは難しい。困ったものです。ともかく、電離性放射線を放射線とするのが、現時点では優勢のようです。このように定義することが、放射線は何か他のものと違う特別なもの怖いものと考えてしまう、原因の１つになっているのでないでしょうか。

放射線を広義に解釈して、エネルギーをもって運動している原子核、素粒子、および紫外線なども含めた全ての電磁波の総称とするのが良いと考えます。そうすればα線、β線、X線、それからγ線も特別なものではなく、光の仲間ということで、アレルギーが少しは無くなるのではないでしょうか。またノーベル化学賞の田中耕一さん、ノーベル物理学賞の小柴昌俊さん、お二人の研究も放射線に関係していることになり、放射線を教える際、お二人の研究成果を話の種として使えて良いと思います。皆様のご意見をお聞かせいただければ幸いです。

会員の皆様から放射線教育に関する論文が、多数届くのを楽しみにしております。

（小高正敬）

放射線教育　Vol. 6, No. 1 (2002)

発行日　2003年3月

発行者　NPO法人放射線教育フォーラム（会長　有馬朗人）
URL ： http://www.ref.or.jp

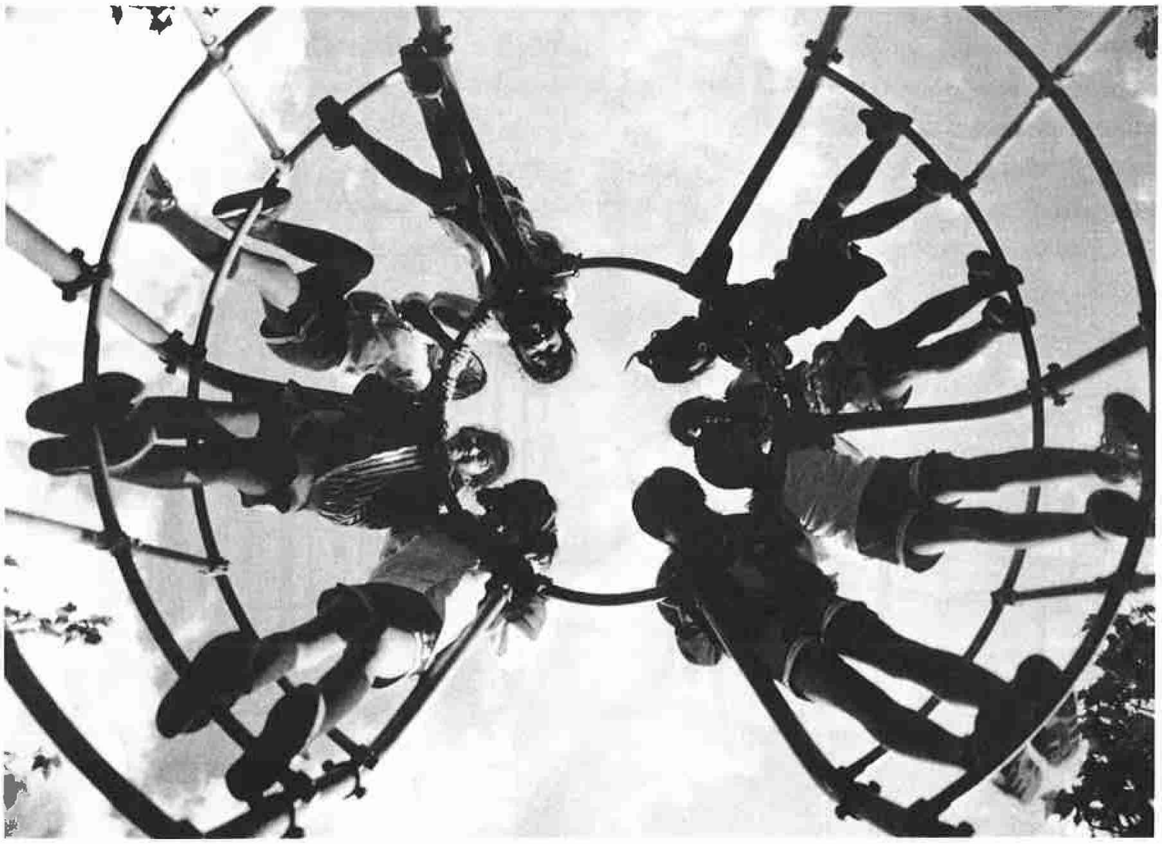
編集者　放射線教育フォーラム編集委員会
大橋國雄（委員長、千葉大学名誉教授）、
坂内忠明（副委員長、放射線医学総合研究所）、
今村　昌（理化学研究所名誉研究員）、大野新一（理論放射線研究所）、
菊池文誠（東海大理学部）、小高正敬（若狭湾エネルギー研究センター）
村主　進（原子力システム研究懇談会）、堀内公子（大妻女子大学）、
村石幸正（東大教育学部附属中・高校）

事務局　〒105-0001　東京都千代田区霞ヶ関　３－３－１　尚友会館 B1F
放射線教育フォーラム
Tel ： 03 － 3591 － 5366,　Fax ： 03 － 3591 － 5367
E-mail ： mt01-ref@kt.rim.or.jp

JAPSE

Japan Association for Promotion
of Science Education and Equipment

明日の地球を担うサイエンティストたち
みんなの好奇心を応援します。



(社)日本理科教育振興協会は，学校教育用理科機器・算数数学機器およびそれらの関連教材の健全な発達と普及を図り，わが国の学校理科教育の振興に寄与する事を目的とする，文部科学省主管の公益法人です。会員数は全国約2,000社，文部科学省委託事業をはじめ各種展示会・講習会等，教育用理科機器の普及・啓発に関する幅広い活動を行っています。

協会証紙のついた製品の品質はメーカー保証に併せ，さらに協会の保証が約束されております。理化学機器のご購入にあたっては，信頼ある理振協会会員へご用命下さい

社団法人　日本理科教育振興協会

〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-26(山本ビル3F)
TEL. 03-3294-0715　FAX. 03-3294-0716
URL：http:/www.vinet.or.jp/japse

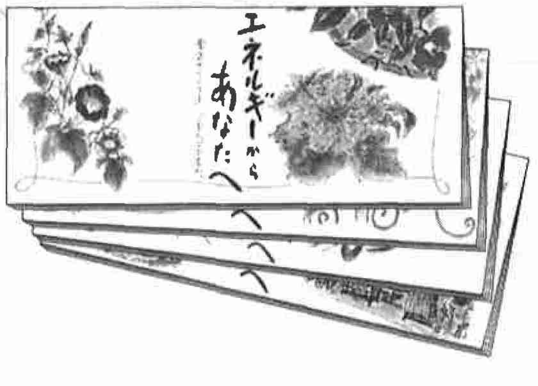
たとえば、あの東京銀座の歩道、
花崗岩でできているので…
ほんの少しですが
自然の放射線が出ています。

原子力発電
へのご質問や
広告のご意見など
をお待ちしています。
お寄せ下さった方
全員に素敵な小冊子
「エネルギーからあなたへ」
4冊シリーズを差し上げます。
さらに抽選で30名様に
「図柄カード」をプレゼントします。

ハガキに住所、氏名、年齢を
お書きの上、下記宛先までお送り下さい。
（平成15年8月22日消印有効）
〒100-8118 東京都千代田区大手町1-9-4
電気事業連合会広報部 まで

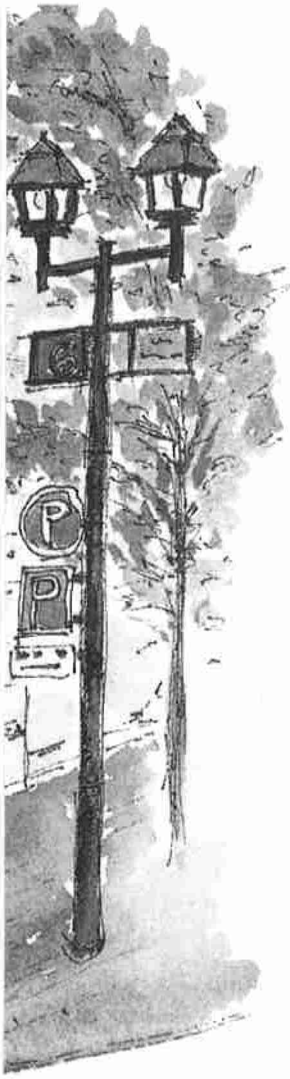
ホームページにもぜひアクセスを…
http://www.fepc.or.jp/

日本の電気の約1/3をささえている"原子力発電"や、
"放射線"について…
もっと知りたい方へ「小冊子」を差し上げます。



全国10の電力会社でつくる
電気事業連合会

エネルギーから
あなたへ



ごぞんじでしたか…
私たちは放射線とともに生活しています

銀座通りの歩道の上で放射線を測定すると、

なぜか関東地方の一般の場所にくらべて放射線が

少し多いのです。その理由は、歩道に敷きつめられている花崗岩…

そこに放射性物質が含まれていて、放射線が出ています。

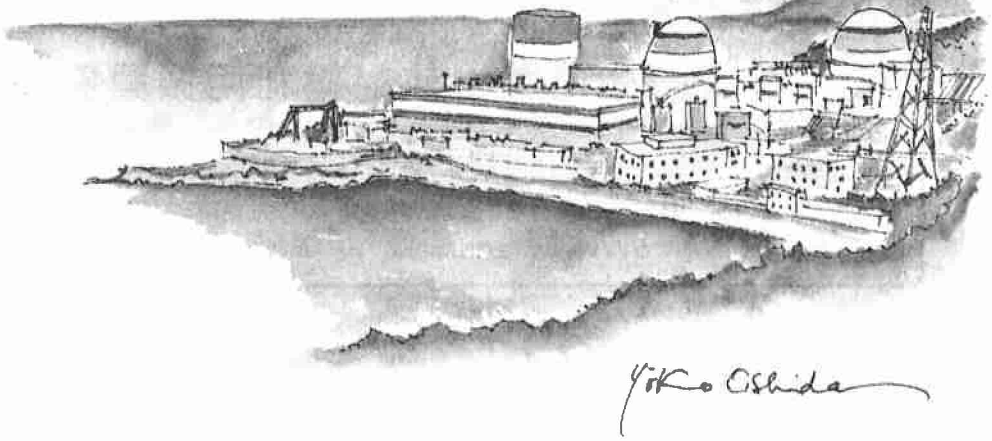
このほか空気や大地、食べ物など、自然界には

さまざまな放射線が存在しています。

原子力発電所から出る放射線の量は、身体に影響がないように

この自然放射線よりもずっと低いレベルに

管理されています。



Yoko Oshida

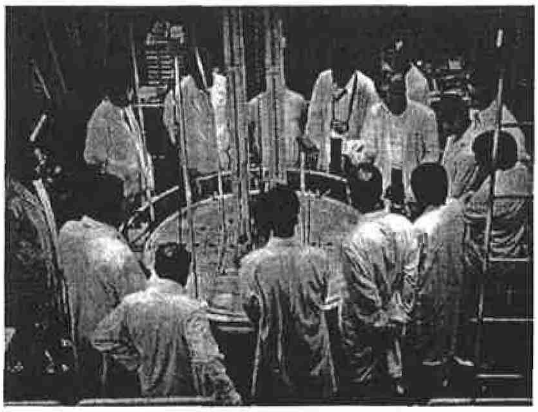
原子力・放射線をテーマに
資源・エネルギー・環境教育の教材を提供・・・
見て、聞いて、触れて、考える、教員のための研修

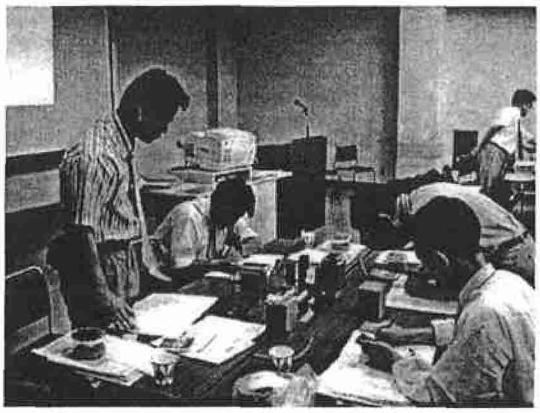
文部科学省受託事業

原子力体験セミナー

本セミナーは国の原子力総合研究機関である日本原子力研究所を主会場として全国の先生方を対象に実施するコースと、全国各地に講師陣が出張して1～2日間で実施する「地域コース」・「文系コース」から成り立っており、内容は、講義、実験・実習、施設見学等を柱に、理科系の専門的な科学的知識の取得を目的としたコースから、資源・エネルギー・環境・防災教育といった「総合的な学習の時間」等へもお役立ていただける内容のコースまで、担当教科や興味・関心に応じてご参加いただける講座と教材を幅広く提供しています。

ここでの体験や専門家との触れ合いから、21世紀を担う児童・生徒たちにとって魅力ある教育を探っていただければ幸いです。





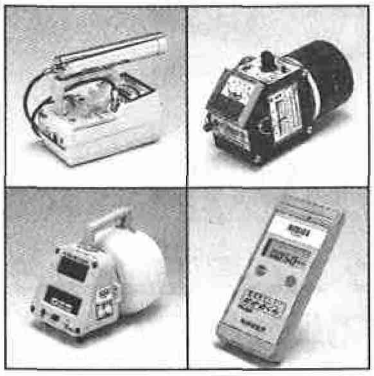
- 参加資格：主として小・中・高等学校の教職員及びこれらに準ずる教育関係者
- 参加費用：セミナーの参加に要する旅費、宿泊費（対象者）並びに実習教材費、テキスト代等は主催者が負担します。
- セミナーの予定やカリキュラムの詳細については下記にお問い合わせ下さい

RADA

財団法人 放射線利用振興協会
国際原子力技術協力センター　国内研修部
〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根２－４
Tel　029(282)6884　　Fax　029(282)6731
ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞ：http://www.rada.or.jp　　E-mail：taiken@popx.tokai.jaeri.go.jp

放射線測定の信頼性向上に

―作業環境の安全確保に―



JCSS 認定事業者

作業環境測定機関

業務内容

★放射線測定器の点検校正
★放射線測定器の特性試験
★放射線測定器の基準照射
★放射線計測技術の調査及び試験研究
★作業環境測定
★放射線(能)測定
★「はかるくん」無料貸出
★原子力関係要員の研修

放計協

財団法人 放射線計測協会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 (日本原子力研究所内)

http://www.irm.or.jp/ TEL.029-282-5546 FAX.029-283-2157

社団法人日本電気協会
JAPAN ELECTRIC ASSOCIATION

日本電気協会は大正10年に設立された、日本で唯一の電気関係総合団体です
電気の生産から消費に関わる幅広い会員を有し、電気関係事業の健全なる発展に寄与しております

電気の今を学ぶために

あなたの知りたいこと
―電気事業についての45の質問と答―
定価:420円(税別)送料310円 A5判・152頁

一般社会人、学生などを対象に、電気の生産、供給をになう電気事業(電力会社等)の今日のありのままの姿や当面する諸問題について知っていただくために、Q＆A形式で図表を多く取り入れ、わかりやすく説明しています

みんなでチャレンジ! 電気の安全
定価:30,000円(税込) VHSビデオ 20分

小学校高学年を対象に、電池を作る実験を通して電気を身近に感じてもらうことにより、今使っている電気はどのようにして作られ届けられているのかを女性キャスターと子供たちにより分かりやすく解説しています

他にも多数の電気関係書籍・ビデオを発行しております

お問い合わせは 出版部 03-4283-2002
または下記ウェブサイトから!

電気の今を知るために

購読料
1ケ月 3,990円
(消費税込み)

電気新聞は電力、電機、情報通信分野における日刊専門紙です
原子力関係も最新のニュースを提供しています

購読のお申し込みは 新聞部 フリーダイヤル 0120-39-1551
または下記ウェブサイトから!

www.denki.or.jp

原子力図書館 げんしろう

http://mext-atm.jst.go.jp

解説や論文、クイズ、最新動向など原子力に関する情報がギッシリ!!

原子力百科事典 ATOMICA

収録数2,000件を超すデータベース形式の百科事典です。世界の原子力や放射線など最新情報を豊富な図版とともにていねいに解説します。

文献データベース NUCLEN

一般から専門家にも役立つ収録数57万件を超す文献データベースです。世界中の原子力やエネルギー関係の文献に日本語の要約をつけてわかりやすくしています。

君は、どこからチャレンジする? げんしろうクイズ

エネルギー、環境、原子力、放射線をテーマに小・中学校生でも楽しめるクイズです。子供達の学習に活用できるコーナーです。

原子力の今を知りたい方をサポート

原子力の最新動向

●原子力委員会
我が国の原子力政策がわかる原子力委員会や専門部会の動きを知ることができます。

●原子力安全委員会　●トピックス

●イベント情報

（原子力委員会、原子力安全委員会は内閣府からのリンクで掲載しています。）

JST 科学技術振興事業団

☎03-5210-4962

HITACHI
Inspire the Next

安定したエネルギーを確保するために
日立の技術が貢献します。

———日立を見れば未来がわかる———

日立原子力発電設備

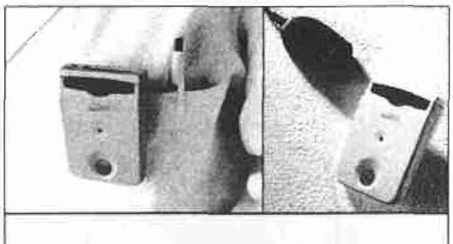
株式会社 日立製作所

お問い合わせは=電力·電機グループ　原子力事業部　〒101-8010 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
電話／(03) 3258-1111(大代)　または最寄りの支社へ　北海道(011) 261-3131·東北(022) 223-0121·関東(03) 3212-1111·
横浜(045) 451-5000·北陸(076) 433-8511·中部(052) 243-3111·関西(06) 6616-1111·中国(082) 541-4111·
四国(087) 831-2111·九州(092) 852-1111　■日立原子力ホームページ http://www.hitachi.co.jp/Div/power/

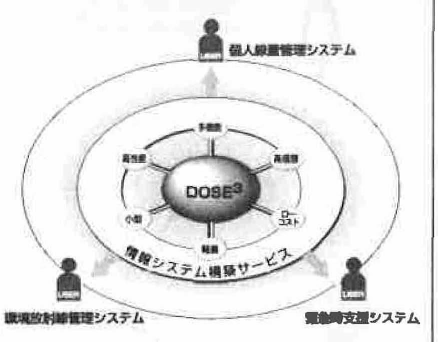
多機能電子線量計 **DOSE³**

ドーズキューブ

DESE³は、放射線測定で求められる機能を情報時代の線量計としてコンパクトに凝縮しました。



<千代田テクノルはDOSE³の販売から情報システム構築までサポート>



DOSE³の特徴

- 国際規格IECに適合。
- 国際特許のLED発光式検出素子診断機能。
- 広範囲なエネルギー帯域に対応。
- PHSなどの高周波障害に対する耐性を強化。
- データは不揮発性メモリーに記録。各月の線量を保存。放射線変化を時系列に記録するトレンド機能。
- 赤外線通信機能。本体のみでアラームの設定が可能。単三電池（3.6V）で4ヶ月動作し、市販の1.5V電池も使用できます。

TECHNOL
CHIYODA TECHNOL CORPORATION

株式会社千代田テクノル 営業部
〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル TEL 03-3816-1163 FAX 03-5803-1939
営業所：東京TEL 03-3816-2931 茨城TEL 029-266-3111 横浜TEL 045-821-6031 筑波TEL 0298-34-2231 大宮TEL 048-667-4412 千葉TEL 043-241-9261 大阪TEL 06-6369-1565
仙台TEL 022-224-1113 福島TEL 0240-22-5541 新潟TEL 0257-22-3334 札幌TEL 011-733-1501 青森TEL 0175-72-3730 名古屋TEL 052-331-3168 敦賀TEL 0770-23-3466
静岡TEL 054-272-5882 金沢TEL 076-231-6789 四国TEL 0894-24-4072 島根TEL 0852-22-0291 福岡TEL 092-262-2233 広島TEL 082-261-8401 鹿児島TEL 099-257-2541
青森駐在員事務所TEL 0177-36-6644 女川駐在員事務所TEL 0225-50-2377 盛岡駐在員事務所TEL 019-604-1071 高松駐在員事務所TEL 087-863-3478 大洗研究所029-266-3113

三菱重工

地球の熱さまし。
温暖化による“発熱”によく効きます。

STOP! 温暖化

いま、地球が“温暖化”という病気にかかりかけています。早めに治すには、省エネルギーや新エネルギーとともに、CO_2を排出しない原子力がよく効きます。美しい地球を健康のまま21世紀にのこすために、私たちは、これからも安全で信頼できる原子力発電プラントを提供してまいります。

三菱PWR原子力発電プラント

三菱重工業株式会社

本社 原子力事業本部・鉄構建設事業本部 〒100-8315 東京都千代田区丸の内2-5-1 ☎(03) 3212-3111
支社 関西／中部／九州／北海道／中国／東北／北陸／四国

国際会議（準備・運営）　**BILINGUAL GROUP**　通訳、翻訳 24ケ国語対応

「備えなくても憂いなし」

逆説的な言い回しをお許しください。理由はこうです。

米国東岸に住んでいる友人が、次のようなメールをくれました。「放射線を浴びたときにのむ錠剤が最近市民に配られています。また、生物化学兵器の被害を最小限にするために、予防注射が実施される計画もあります。」

私はさすが米国だ、と感心しました。アメリカでは実際に今、テロが起こるかもしれない。攻撃は、思いもよらない形をとるかもしれない。原子力発電所が爆破される可能性も否定できない。となると、本気で犠牲者数を減らそうと考え、具体的対策を検討し、即実施するのが米国流なのだと思います。

医学関係者からのコメントによると、攻撃に使われた爆弾に放射性ヨウ素を含むアイソトープが使ってあれば、ヨウ素剤を服用する事が被害対策として考えられる由。放射性ヨウ素がヒトの体に入ったら、甲状腺に集積し、甲状腺ガンを引き起こすので、先回りして放射線を出さないヨウ素剤を服用しておく。すると甲状腺が満杯になって、放射性ヨウ素が甲状腺に入るを防げる。ただし、アイソトープの種類は多く、ヨウ素だけとは限らないので、対応が難しいらしい。そこでとりあえずヨウ素剤だけでも服用して被害を少なくしようとしている。

そのようなわけで実際にアメリカの東岸では一時期、薬局でヨウ素剤が払底してしまったようです。一説によれば、全部政府が買い占めたのだとも。日本では、危機といった事態にもつい呑気に、また楽観的に打ちすぎ、「備えなくても憂いなし」といった状態が続くのではないかと心配です。もとはといえば災害デパート日本に、古くから根付いてきた諦めの心に根ざすものなのかもしれません。いざというときには、日本政府にも国民を保護する具体的な手を打ってもらいたいものです。

株式会社 バイリンガル・グループ　〒102-0074 東京都千代田区九段南４-７-２２-２Ｆ

取締役社長 郷農 彬子 <akko@bilingualgroup.co.jp> TEL:(03)3263-1261(代) FAX:(03)3263-1264(代)

各省庁研究費公募及び配分、内容等も紹介

我が国唯一の基礎科学専門紙

研究助成団体の募集及び結果

文部科学省等の情報

教授人事、国際会議派遣、大学ニュース、研究成果など

海外科学ニュース

海外雑誌を航空便で取り寄せ翻訳速報

その他の主な内容

人物紹介、海外出張者、国内科学ニュースダイジェスト、学協会行事、科学雑誌・学協会誌目次総覧、外国雑誌、新刊案内、書評、新製品紹介、研究所紹介、科学読物、教授・助教授等公募、科学者が語る自伝

科学新聞　週刊（金曜日発行）

1カ月 1,835円
6カ月 9,700円（前納）
1カ年 18,350円（前納）
（送料・消費税込）

科学・技術・医学用語など69万語の辞書を装備！！

米国商務省・日英科学文献機械翻訳センターで採用！ 文部科学省・科学技術振興調整費による成果！

パソコン用ソフト **科学と技術の翻訳パートナー** －日英－ Ver1.1

Windows版（バージョンアップ版）――― 定価（本体 95,000円＋税 買換価格20,000円＋税）
Macintosh版――― 定価（本体120,000円＋税）
（CD-ROM1枚、ユーザーズ・マニュアル1冊）

科学新聞社　東京都港区浜松町１-８-１（〒105-0013）
TEL 03-3434-3741(代) FAX 03-3434-3745
http://www.sci-news.co.jp

資源・エネルギー・原子力・環境について知りたいこと、疑問に思うことはありませんか?

①「**エネルギーと環境**」**講座**では、学校の先生方に最新の情報を提供しています。

②10月26日の「原子力の日」を記念して、**中学生や高校生から作文・論文を募集**し、入選者を表彰式と施設見学会にご招待します。

③高校生を対象に**放射線実習セミナー**を開催し、放射線に関する基礎的知識を講義と実習を通じて習得できるように、お手伝いします。

④先生方の研究会や勉強会に**講師を派遣**したり、発電所などの**施設見学会の開催**をお手伝いします。

⑤エネルギー、原子力などに関する、**ビデオや写真を貸し出し**ています。

- 講師派遣などの経費は無料です。
- お問合せは、電話、FAX、または手紙でお願いします。

財団法人日本原子力文化振興財団

〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町2-8-4　Tel：03-5651-1570　Fax：03-3639-6636